This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

HW 2K08 I

KE 31703

Harvard College Library

THE GIFT OF

FREDERICK ATHEARN LANE,

OF NEW YORK, N. Y.

(Class of 1849).

4 Nov. 1895.

SYNTHÈSE

DES MINÉRAUX ET DES ROCHES

5416. — PARIS, IMPRIMERIE A. LAHURE
9, rue de Fleurus, 9

Fig. 1, Leucotéphrite artificielle

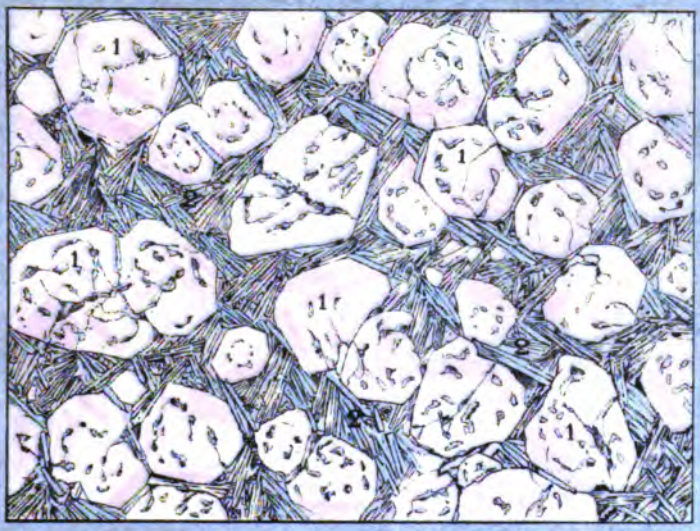
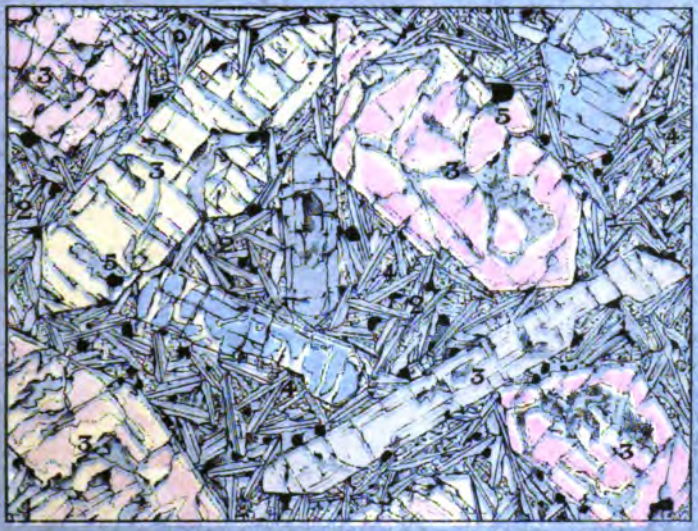


Fig. 2, Basalte artificiel



1 Leucite
2 Labrador
3 Péridot
4 Pyroxène
5 Fer oxydulé

Les deux préparations sont vues entre les nicols croisés et la première avec interposition d'un quartz parallèle, à 45° NE.

Fig. 1. Leucotéphrite artificielle

Fig 2. Basalte artificiel

1 Leucite
2 Labrador
3 Péridot .
4 Pyroxène
5 Fer oxydulé

Les deux préparations sont vues entre les nicols croisés et la première avec interposition d'un quartz parallèle, à 45°NE.

Fig. 1

Fig. 2

ATELIERS DE REPRODUCTIONS ARTISTIQUES 15, QUAI VOLTAIRE, PARIS.

SYNTHÈSE
DES MINÉRAUX ET DES ROCHES

PAR

Ferdinand
F. FOUQUÉ
Membre de l'Institut
Professeur au Collège de France

ET

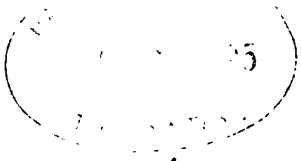
Auguste MICHEL LÉVY
Ingénieur des mines
Attaché au service de la carte géologique de la France

AVEC UNE PLANCHE EN PHOTOCHROMIE

PARIS
G. MASSON, ÉDITEUR
LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 120

M DCCC LXXXII
Tous droits réservés.

~~V. 53148~~
~~Geol 750882~~
KE 31703



Lane fund

PRÉFACE

Les études de minéralogie synthétique, après avoir passé vers 1850 par une première période de succès éclatants, ont fourni une nouvelle et brillante étape dans ces dernières années. Les résultats obtenus constituent une riche moisson de faits positifs; ils apportent désormais des documents intéressants non seulement à la minéralogie pure, mais encore à l'une des branches principales de la géologie, la pétrographie. Par là, les synthèses permettent d'entrevoir quelques-unes des conditions qui ont présidé à la genèse du globe: aux anciennes théories géologiques elles font succéder des déductions basées sur des données certaines, empruntées aux expériences de physique et de chimie des laboratoires.

Bien que la plupart des travaux synthétiques soient d'origine française, aucune publication d'ensemble sur ce sujet n'a encore paru dans notre pays. Nous ne connaissons en effet que les résumés succincts publiés par Dufrénoy[1], M. Alp. Favre[2] et M. Friedel[3].

1. Dufrénoy, *Minéralogie*, 1845.
2. A. Favre, *Sur les minéraux artificiels*, Bull. Soc. géol., t. XIII, 1855-56, p. 307. — Bibl. univ. Archives, t. XXXI, 1856, p. 136.
3. Friedel, *Revue scientifique*, sept. 1880, p. 242-48.

A l'étranger, on possède des ouvrages plus étendus sur la question[1], dans lesquels on trouve une somme considérable de renseignements intéressants. Mais le plus récent de ces ouvrages, celui de M. Fuchs[2], couronné en 1871 par l'Académie des sciences de Hollande, se trouve dès à présent très incomplet, par suite du grand nombre et de l'importance des plus récents travaux.

Ces diverses considérations nous ont décidés à rassembler tous les résultats des synthèses opérées jusqu'à présent; nous avons été également poussés à cette œuvre par le désir de rendre un pieux hommage aux savants illustres qui ont inauguré et poursuivi ce genre de recherches : Gay-Lussac, Berthier, Ebelmen, Sénarmont, Durocher, Henri Sainte-Claire Deville, précurseurs et maîtres de l'École synthétique actuelle.

Paris, 17 avril 1882.

1. Hausmann, *Beiträge zur metallurgischen Krystalkunde*, 1850 et 1859.
Gurlt, *Ubersicht der pyrogenneten künstlichen Mineralien*, Freiberg 1857.
Leonhard, *Hüttenerzeugnisse und andere auf künstlichem Wege gebildete Mineralien als Stützpunckte geologischer Hypothesen*, Stuttgart, 1858.
2. Fuchs, *die künstlich dargestellten Mineralien*, Haarlem, 1872.

PRINCIPALES ABRÉVIATIONS BIBLIOGRAPHIQUES

Ann. de ph. et ch.....	Annales de physique et de chimie.
Ann. des mines.....	Annales des mines.
Arch. Pharm.....	Archiv für Pharmacie.
B. u. Hüttenm. Z...	Berg—und Hüttenmännische Zeitung.
Bull. Soc. geo.....	Bulletin de la Société géologique de France.
Bull. Soc. min.	id. id. minéralogique de France.
C. r..... ...	Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences.
J. ph.....	Journal de physique.
J. pr. Chem..	Journal für praktische Chemie (Erdmann und Werther).
Jahrb. f. Min.....	Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, etc. (Leonhard und Bronn).
Neues Jahrb..... ..	Neues Jahrbuch für Mineralogie, etc.
Ann. Ch. Pharm.....	Annalen der Chemie und Pharmacie.

REPRODUCTION ARTIFICIELLE
DES MINÉRAUX ET DES ROCHES

I

GÉNÉRALITÉS

Toutes les sciences physiques et naturelles présentent, dans leur évolution, trois phases distinctes : durant la première, les phénomènes sont simplement *observés*. Dans la seconde, ils sont soumis à un travail expérimental ayant pour but leur étude dans des conditions variées, et moins compliquées que les conditions naturelles; des faits complexes on passe à des phénomènes de plus en plus simples, jusqu'à ce qu'on les réduise à leurs éléments; l'opération ainsi conduite est l'*analyse*. La dernière phase correspond à un développement scientifique inverse; du simple on remonte au composé; on travaille à imiter la puissance créatrice de la nature; la *synthèse*, constituée par cette série d'opérations, est le couronnement pratique de l'œuvre et permet d'entrevoir l'action

des causes dont la connaissance est le but final des sciences physiques et naturelles.

La minéralogie offre un exemple complet d'une pareille évolution : à son début, c'est une science essentiellement d'observation; on considère les propriétés physiques, les formes, la structure des minéraux; on n'admet que l'observation, et, indépendamment de toute expérimentation, on cherche à résoudre les problèmes géogéniques qui de tout temps se sont imposés aux préoccupations des naturalistes.

La période analytique débute par la détermination des formes primitives. La chimie se fonde; aussitôt elle apporte son concours à la minéralogie; l'expérience commence; les éléments des minéraux sont déterminés; les phénomènes principaux de l'isomorphisme sont étudiés. En même temps, l'analyse porte ses efforts vers l'étude des propriétés optiques des minéraux; la structure intime des corps cristallisés est fouillée à l'aide des modifications que leurs milieux font subir aux rayons lumineux qui les traversent. Il en résulte, pour la science, des procédés d'examen d'une délicatesse et d'une élégance incomparables.

La synthèse suit de près l'essor de l'analyse; les lois fondamentales de la cristallographie sont découvertes et leurs relations avec les données optiques sont mises en évidence. En même temps, commence la synthèse chimique des minéraux et des roches, dont nous avons particulièrement à nous occuper; une expérience célèbre, la reproduction artificielle du marbre par Hall, l'a inaugurée; puis viennent les essais couronnés de succès de Gay-Lussac et de Berthier. Mais les reproductions artificielles n'ont acquis leur entier développement que dans la seconde moitié du siècle; elles ont alors été illustrées par les travaux d'Ebelmen, de Sénarmont, de Henri Sainte-Claire Deville, etc.

Conditions d'une synthèse minéralogique. — 1° Le minéral artificiellement reproduit doit posséder la composition chimique de son similaire naturel.

2° Il appartiendra au même système cristallin et présentera les mêmes formes, les mêmes paramètres cristallographiques; l'analogie doit se poursuivre dans les macles et dans le développement favori de certaines faces.

3° L'identité se continuera dans les détails de structure intime, même dans ceux que l'examen microscopique est seul susceptible de révéler : propriétés optiques, clivages, inclusions, mode d'altération.

4° En outre, les minéraux se présentent rarement isolés dans la nature; sans doute, ceux des druses affectent une indépendance relative, due à leur implantation, à la surface, de cavités préexistantes. Mais, dans les roches, les minéraux composants sont associés entre eux, suivant des lois qui ne présentent rien d'arbitraire, et, dans chaque cas, les reproductions artificielles doivent manifester les mêmes modes d'association.

5° Si toutes les conditions précédentes sont remplies, il est très probable que l'opérateur aura employé exactement les moyens suivant lesquels la nature a procédé. Cependant, pour que la certitude soit aussi complète que possible, un dernier contrôle est indispensable; l'examen géologique donne, à ce sujet, des renseignements positifs dont il faut rigoureusement tenir compte.

A plusieurs reprises, dans les écrits de Sénarmont, nous voyons reparaître cette pensée : « Il faut, dit-il, que chacune des conditions de l'opération artificielle soit compatible avec toutes les circonstances où l'opération naturelle a laissé des traces caractéristiques[1]. »

Classement des synthèses. — Les reproductions s'opèrent

1. *Expériences sur la formation des minéraux par voie humide dans les gîtes métallifères concrétionnés*, *Ann. de Ph. et Ch.*, t. XXXII, 3e série, 1851, p. 129.

de deux façons : tantôt l'expérimentateur prévoit les résultats qu'il doit obtenir; il combine les éléments de l'opération et dirige ses efforts vers un but déterminé. Que le succès les couronne ou non, il aura opéré, ou tout au moins, cherché à obtenir une véritable synthèse.

A côté de ces tentatives directes, il est de ces reproductions artificielles qui s'obtiennent accidentellement, sans le concours d'une volonté intelligente. Il s'agit ici de ces cristallisations qui s'effectuent spontanément dans les produits des fourneaux de l'industrie. Les laitiers de hauts-fourneaux, les fonds de creuset des verreries fournissent fréquemment des minéraux cristallisés, que le minéralogiste n'a plus qu'à déterminer pour constater leur identité avec des produits naturels.

De nos jours, dans les éruptions volcaniques, on assiste pour ainsi dire à la formation de certains minéraux engendrés dans des conditions spéciales, par voie de sublimation et de métamorphisme.

Mais les reproductions voulues sont toujours d'une utilité scientifique bien supérieure à celle des produits accidentels, qui sont le plus souvent chargés d'impuretés et nés d'une genèse obscure.

Il est à remarquer que la plupart des synthèses voulues ont été effectuées en France, tandis que les synthèses accidentelles ont été plus spécialement l'objet de travaux approfondis de la part des minéralogistes étrangers.

Ce fait singulier, mais incontestable, n'a pas échappé à la sagacité des commentateurs allemands[1] et il est intéressant d'en examiner la cause, qui nous paraît tenir à

1. « Diesem Bestreben durch Synthese Mineralien zu erzeugen, haben wir die glänzendsten Resultate zu verdanken, und zwar sind es mehrere französische Forscher, die sich in neuester Zeit durch geistreiche synthetische Verfahren zur Bildung pyrogeneter künstlicher Mineralien ausgezeichnet haben. » (*Uebersicht der pyrogeneten künstlichen Mineralien.* — A. Gurlt Freiberg, 1857).

la nature même du caractère français. Notre génie national répugne à l'idée d'accumuler un trop grand nombre de faits scientifiques sans les coordonner, et si cette tendance nous entraîne quelquefois à des hypothèses hasardées, elle a, d'autre part, le mérite de nous induire aux expériences synthétiques. En outre, les études de chimie minérale ont été constamment en faveur dans notre pays, et, depuis Berthier et Ebelmen, elles n'ont pas cessé d'être représentées avec éclat, en même temps qu'on leur associait les études cristallographiques. Cette union de la minéralogie et de la chimie devait produire et a produit des résultats heureux. Quand elle n'existe pas, les forces mises en jeu par la nature dans la genèse des minéraux échappent au minéralogiste et sont trop souvent considérées par le chimiste comme des moyens négligeables devant le but matériel à atteindre.

L'alliance même des deux ordres d'études ne comble la lacune qu'à la condition d'y joindre des préoccupations d'ordre géologique, et nous emprunterons encore à Sénarmont les conseils suivants qu'il a mis lui-même en pratique et qui n'ont pas cessé d'être profitables :

« C'est à la chimie minéralogique que la géologie doit « l'utile contrôle expérimental de ses conceptions ration- « nelles. Les minéraux cristallisés ont, en effet, une ori- « gine toute chimique, et c'est l'expérience chimique qui « doit servir d'appui à la géologie, si elle veut faire un « pas de plus dans l'étude des roches qui en sont com- « posées.

« La chimie peut donc beaucoup pour la géologie, « mais à la condition de rester elle-même géologique et « de lui emprunter tour à tour ses moyens d'étude spé- « ciaux et les données générales que la science a re- « cueillies *a priori* sur toutes les particularités condition- « nelles de structure, de gisement, d'association ou « d'exclusion mutuelles, auxquelles certaines espèces

« minérales doivent satisfaire. Il faut, en un mot, que « toutes les circonstances où l'opération naturelle a laissé « des traces caractéristiques, découvertes par le géologue, « se retrouvent dans l'opération artificielle du chimiste[1] ».

En somme, l'union de la cristallographie, de la chimie et de la géologie sont nécessaires à la perfection d'une synthèse; c'est grâce à cettte triple alliance seulement que l'on peut réaliser les cinq conditions ci-dessus énumérées.

Dans toutes les publications relatives aux synthèses minéralogiques, la préoccupation de satisfaire simultanément à toutes ces conditions se manifeste ouvertement, et, lors même que les moyens employés sont purement chimiques, les auteurs cherchent encore quelques analogies entre leurs procédés et ceux que la nature a mis en œuvre.

Faits et moyens nouveaux favorables aux reproductions artificielles. — Plusieurs causes ont contribué dans ces dernières années aux progrès rapides de la science des reproductions artificielles : d'anciens préjugés fortement enracinés ont disparu; l'observation a vu ses procédés d'investigation acquérir une précision inespérée; enfin, le matériel même des laboratoires de recherches synthétiques s'est perfectionné d'une façon remarquable.

I. On croyait jadis que la nature mettait en œuvre des moyens mystérieux; on rappelait qu'elle dispose d'un temps indéfini, de masses énormes et de forces supposées hors de proportion avec celles dont on peut faire usage dans un laboratoire. Personne n'aurait eu l'idée que, dans un creuset contenant seulement quelques grammes de matière, on parviendrait jamais à reproduire des associations cristallines identiques à celles que les volcans rejettent par millions de mètres cubes. Et cette

1. *C. R.*, t. XXXII, 1851, p. 409.

méfiance des forces que nous pouvons mettre en jeu, s'appliquait encore plus aux pressions et aux températures. On comparait volontiers ces impossibilités à celles qui arrêtent encore les physiologistes en quête d'une production artificielle de la cellule organique élémentaire.

D'autre part, au commencement du siècle, les géogénistes étaient divisés en deux camps opposés, les uns attribuant tout à la voie aqueuse, les autres partisans exclusifs de la voie ignée. Il a fallu de longues années pour amener un compromis et donner naissance à des méthodes éclectiques ; en même temps, l'expérience démontrait qu'un minéral n'a pas nécessairement un mode unique de génération ; et que, tout au contraire, il peut parfois prendre naissance dans les conditions les plus dissemblables, bien qu'également déterminées.

Le même scepticisme régnait à propos des associations minérales et l'on ne s'imaginait guère qu'un magma homogène pût simultanément donner naissance à différents minéraux cristallisés ; on ne pouvait nier que la nature avait résolu le problème, mais c'est là surtout qu'elle semblait s'être enveloppée de mystère et avoir mis en œuvre une sorte de force vitale. Cette opinion était récemment encore exprimée dans toute sa force par le savant pétrographe Zirkel dans les lignes suivantes que nous lui empruntons :

« La nature travaille dans de tout autres conditions que « le chimiste dans son laboratoire et engendre, par « suite, des associations minérales essentiellement diffé- « rentes. Celui qui n'est pas arrivé à partager cette con- « viction ne peut être considéré comme ayant pénétré « dans le sanctuaire de la science[1]. »

1. « Derjenige scheint noch erst in den Vorhallen der Wissenschaft zu stehen, welcher noch nicht zu der Ueberzeugung gelang ist, dass die Natur im Grossen, unter ganz anderen Bedingungen und Verhältnissen arbeitend, auch ganz andere Producte zu erzeugen und ganz andere Mineral-Associationen herbeizuführen vermag, als der Chemiker in seinem Laboratorium. »

« On ne peut douter que le fer magnétique ne se soit « isolé au sein d'une matière fondue, et cependant, jus- « qu'à présent, il n'y a pas d'exemple de la solidification « simultanée du fer oxydulé et d'un silicate dans un bain « en fusion[1]. »

Des difficultés pratiques s'élevaient aussi contre la recherche d'une association de minéraux cristallisés : on craignait l'incertitude de leur détermination ; tout minéral enchevêtré dans un mélange cristallin et par suite difficile à isoler, ne se prête ni à des déterminations de forme, ni à l'analyse chimique ; les moyens d'étude, naguère encore exclusivement appliqués, exigent en effet des minéraux isolés et de dimensions notables. Et cependant, les petits cristaux sont aussi intéressants que les échantillons volumineux ; les conclusions fournies par leur examen sont aussi décisives que celles auxquelles on est conduit par l'examen des plus beaux spécimens des collections :

« Il ne faut pas s'étonner, dit Sénarmont, si l'état cris- « tallin des produits formés artificiellement, est quel- « quefois imparfait et toujours microscopique. Ce n'est « pas d'ailleurs le volume des cristaux qui résout de « pareils problèmes, c'est le fait même de leur créa- « tion[2].... »

II. A ce point de vue, le développement de la minéralogie micrographique a été d'une grande importance. Dans beaucoup de cas, elle fournit des données certaines sur la genèse des minéraux naturels et par conséquent sert de guide dans les expériences de reproduction : la connaissance des inclusions est un premier jalon dans cette voie nouvelle ; quand elles sont vitreuses, l'origine

1. « Dass hier das Magneteisen sich aus der geschmolzener Masse ausgeschieden hat, daran kann gar kein Zweifel obwalten, wenn auch bis jetz noch kein Beispiel vorliegt, dass er der chemischen Kunst gelungen wäre, einen Schmelzfuss zu einem Gemenge eines Silicats mit Magneteisen erstarren zu lassen. » ZIRKEL. *Diessjährigen Laven von Nea Kameni, Neues Jahrb.* p. 769.

2. *C. R.*, t. XXXII, 1851, 409.

ignée est certaine, tout en n'excluant pas l'action des agents volatils; quand elles sont aqueuses, l'intervention de l'eau est indubitable. L'acide carbonique liquide apparaissant dans les inclusions de certains minéraux tels que le quartz, la topaze, l'émeraude, atteste leur formation sous de fortes pressions.

L'ordre de consolidation des différents éléments dans les roches éruptives devient évident ; la division de cette consolidation en phases distinctes est mise en lumière ; l'état de repos ou de mouvement des minéraux pendant ou après leur cristallisation, est manifesté par les diversités de structure (zones d'accroissement, cassures et corrosions, structure fluidale, etc.). On est ainsi éclairé sur les conditions qui ont présidé à la formation de certains groupes de minéraux ; il a suffi par exemple de l'observation microscopique des roches volcaniques pour se convaincre que leurs minéraux de seconde consolidation avaient été formés par voie purement ignée, sans l'intervention de températures ni de pressions excessives et surtout sans qu'il y ait eu besoin d'un repos absolu, condition jadis considérée comme indispensable à toute cristallisation régulière.

De même l'observation de la micro-pegmatite, c'est-à-dire d'une association intime de quartz et d'orthose cristallisés simultanément, démontre la possibilité de la cristallisation de ces deux minéraux sous les mêmes influences. Cette possibilité vient de passer à l'état de certitude, grâce aux expériences de MM. Friedel et Sarasin.

L'étude des plaques minces de roches éruptives nous montre constamment l'apatite en inclusions dans tous les autres minéraux. Une pareille succession jointe, à la nature des minéraux qui entrent avec l'apatite dans la constitution des roches, montre que les procédés employés jusqu'à présent pour la reproduire artificiellement, s'é-

cartent de ceux que la nature a mis en œuvre, tout au moins pour ce qui a trait à l'apatite des roches éruptives.

Dans toute une série de roches (diabases et dolérites à structure ophitique), on voit au microscope le fer oxydulé, ou même le fer natif, moulés sur les silicates cristallisés et notamment sur les feldspaths ; dans la plupart des autres roches, on trouve au contraire le fer oxydulé en inclusions dans ces mêmes minéraux ; sa reproduction artificielle ne pouvait être considérée comme véritablement réalisée qu'autant qu'on était parvenu à reproduire ces deux modes de structure.

Dans les roches à leucite, ce minéral paraît toujours antérieur au feldspath et au pyroxène qui l'accompagnent. Ces roches étant d'origine ignée, il était dès lors probable que la leucite avait cristallisé à une température supérieure à celle des silicates associés. Cette notion a servi de guide dans la reproduction des associations minérales dont la leucite fait partie et, inversement, l'observation de ces produits artificiels a démontré la justesse de l'opinion qui avait servi de point de départ.

Un très grand nombre des produits jadis obtenus dans les expériences synthétiques, ont été complètement délaissés par leurs auteurs, et leurs expériences ont été considérées comme des insuccès, faute de moyens convenables pour en étudier les résultats. L'emploi des plaques minces et du microscope polarisant, aux forts grossissements, a permis l'étude de produits, dans lesquels les anciens auteurs n'avaient vu que des émaux ou des magmas informes.

III. Les laboratoires disposent actuellement d'appareils perfectionnés qui permettent d'obtenir de hautes températures et de fortes pressions dans des conditions de fixité et de sécurité inespérées.

Pour les hautes températures longtemps prolongées,

on était naguère obligé de recourir aux fourneaux de l'industrie, dont les inconvénients sont manifestes. L'emploi du fourneau Schlœsing a d'abord permis d'atteindre pratiquement dans les laboratoires de très hautes températures, en employant comme combustible le gaz de l'éclairage.

La combinaison du fourneau Leclerc et Forquignon (1875) et de la trompe Damoiseau (1878), fournissant le vent à un chalumeau à gaz, donne le procédé le plus pratique pour obtenir dans un petit espace de très hautes températures que l'on peut maintenir fixes indéfiniment.

Les fortes pressions ont été d'abord obtenues dans des tubes en verre, scellés à la lampe, chauffés à des températures ne dépassant pas 200°. Un premier perfectionnement a consisté à les renfermer dans des enveloppes métalliques hermétiquement closes et contenant elles-mêmes une petite quantité d'eau. M. Daubrée a pu atteindre ainsi une température de 350 à 500°.

Mais le fer et le laiton primitivement employés étaient altérés par l'eau ; c'est pourquoi MM. Friedel et Sarasin ont eu l'idée de doubler l'intérieur du tube métallique d'un revêtement en platine. La clôture hermétique du tube en métal a longtemps été une grande difficulté. MM. Friedel et Sarasin l'ont surmontée par l'emploi d'un plateau relié, au moyen de boulons latéraux, à une bride faisant corps avec le pourtour de l'orifice du tube. Nous avons adopté le tube doublé de platine, en modifiant légèrement sa fermeture ; un disque d'acier portant à sa face inférieure, en son centre, une rondelle de cuivre, vient presser une lamelle circulaire de platine sur le revêtement de même métal qui entoure l'orifice du tube ; la pression est obtenue, comme dans la marmite de Papin, au moyen d'un étrier s'appuyant de bas en haut sur une bride qui termine la partie supérieure du tube ; une vis

traverse le sommet de cet étrier et vient presser de haut en bas sur le disque d'acier. La fermeture étanche est assurée par l'écrasement de la lamelle de platine interposée et par la dilatation de la rondelle de cuivre, dilatation supérieure à celle du disque d'acier dans lequel la rondelle est encastrée.

Ce système de fermeture est fidèle ; il s'ouvre facilement après les expériences ; il a résisté à des pressions qui ont amené la déchirure d'un tube d'acier dont la paroi avait $1^{cm},5$ d'épaisseur, le diamètre du trou intérieur étant de 1^{cm}. Cette rupture avait été provoquée par une température atteignant le rouge cerise.

Un autre perfectionnement, dû à MM. Friedel et Sarasin, consiste à appliquer un appareil de fermeture aux deux extrémités du tube, de manière à faciliter le nettoyage de la cavité cylindrique intérieure.

M. Wiesnegg a récemment construit une étuve en fonte de fer qu'il désigne sous le nom de Bloc (1879), dans laquelle on peut chauffer simultanément au gaz d'éclairage plusieurs des tubes ci-dessus décrits, jusqu'à une température de 500° environ ; en modifiant légèrement cet appareil, on atteint le rouge naissant.

Pour assurer son fonctionnement à une température fixe, on emploie avec avantage le régulateur Darsonval (1879). Ce dernier se compose d'un thermomètre à air dont le réservoir cylindrique en porcelaine est logé dans l'étuve, et dont l'air dilaté agit sur un manomètre lenticulaire qui soulève plus ou moins une soupape réglant l'arrivée du gaz.

Utilité des synthèses minérales. — 1° Les synthèses minérales éclairent le mode de formation naturelle des minéraux et des roches. Les observations géologiques ont suffi pour trancher, dans ses grands traits, la querelle célèbre des écoles plutonienne et neptunienne. Cependant des doutes restaient encore jusque dans ces derniers temps

sur les conditions de la genèse d'un grand nombre de roches volcaniques ; on faisait jouer à l'eau un rôle considérable, on la regardait notamment comme ayant été indispensable à la formation des basaltes. L'expérimentation directe nous a permis d'augmenter considérablement le nombre des roches dont la formation doit être rapportée à la fusion purement ignée, d'y comprendre avec certitude le basalte et toutes les roches volcaniques modernes.

Inversement, l'impuissance de tous les procédés employés jusqu'à ce jour pour reproduire le granite, la granulite, les porphyres et en général toutes les roches acides, montre que la nature a, pour les produire, mis en œuvre un mode d'action différent de ceux qui sont usités jusqu'à présent dans les laboratoires. Les moyens naturels n'ont certainement rien de mystérieux et une combinaison heureuse des procédés connus ou une légère modification dans leur emploi suffira peut-être pour atteindre le but désiré.

2° Un autre avantage des synthèses minérales consiste dans la détermination de la composition exacte des minéraux naturels impurs. Nous ne saurions mieux faire que de citer les paroles de M. Frémy sur ce sujet :

« Le minéral qui paraît le plus pur, contient presque « toujours à l'état d'interposition, des corps étrangers qui « se trouvaient dans le milieu qui l'a formé : l'analyse « est alors impuissante pour déterminer la composition « réelle du minéral, tandis qu'une reproduction synthé- « tique permet de distinguer les éléments constitutifs de « ceux qui ne sont qu'accidentels[1]. »

Effectivement, certains minéraux, doués des formes cristallines les plus nettes, ne sont quelquefois qu'une sorte de moule emboîtant les espèces les plus diverses ; tel est

1. Frémy. *C. R.*, t. LXXXV, p. 1029, 1877.

le cas de la chiastolite, du grenat, de la staurotide et d'un grand nombre de minéraux des roches métamorphiques.

De plus, les minéraux des roches éruptives elles-mêmes présentent au microscope de nombreuses inclusions, même lorsqu'on examine les plus purs d'entre eux ; ils sont en outre soumis à des altérations incessantes ; à peine une roche est-elle formée que l'eau la ronge et la transforme. Aussi n'y a-t-il pas lieu de s'étonner de la diversité des chiffres que les traités de minéralogie donnent pour la composition d'un seul et même minéral. L'exemple de la leucite est probant à ce point de vue ; les analyses chimiques des échantillons naturels y décèlent constamment la présence de la chaux et de la soude, tandis que les essais de reproduction artificielle montrent la possibilité d'engendrer ce minéral sans autre base que la potasse.

Il en est de même de l'oligoclase, du labrador et de l'anorthite que nous avons pu reproduire en partant de leur composition théorique.

La composition de la hopéite n'a pu être sûrement déterminée qu'a la suite de la reproduction artificielle de ce minéral par MM. Friedel et Sarasin.

3° La plupart des minéraux naturels sont des combinaisons complexes dans lesquelles plusieurs corps se sont introduits par voie d'isomorphisme. Dans les pyroxènes, par exemple, la magnésie, le protoxyde de fer et la chaux figurent simultanément à ce titre. Cependant les minéralogistes ont distingué des types auxquels ils ont donné des noms spéciaux, diopside, augite, types qui théoriquement sont caractérisés par la prédominance de telle ou telle base associée à la silice. Les variétés de passage, fournies par la nature, diffèrent des types théoriques non seulement par leur composition chimique, mais aussi par la valeur des angles dièdres et par

la position et la grandeur des axes d'élasticité optique.

La synthèse peut seule, en fournissant les types théoriques, combler cette lacune et donner la mesure exacte de ces données physiques. C'est le point de vue à l'aide duquel Ebelmen a justifié avec autorité les expériences synthétiques effectuées par des procédés purement chimiques.

4° Les synthèses minérales permettent encore de spécifier les individualités propres à une famille déterminée et de distinguer du véritable isomorphisme les séries que constituent les individus en question.

La famille des spinelles se compose de plusieurs termes qui passent les uns aux autres par voie d'isomorphisme ; c'est l'étude chimique des composés obtenus par Ebelmen qui a permis à l'illustre savant d'établir cette démonstration.

Inversement, dans la série des feldspaths, les reproductions artificielles nous paraissent démontrer l'individualité propre de l'oligoclase et du labrador, individualité qui n'a aucune raison d'être, si l'on admet l'isomorphisme de l'albite et de l'anorthite et la possibilité d'un mélange en toute proportion de ces deux feldspaths. Quand on fond un mélange d'éléments chimiques ayant une composition intermédiaire entre les compositions théoriques de l'oligoclase et du labrador, au lieu d'obtenir un feldspath unique, possédant cette composition et pouvant résulter de l'union par voie d'isomorphisme de l'albite et de l'anorthite, on distingue au microscope, dans le produit formé, deux séries de microlithes, les uns s'éteignant longitudinalement comme l'oligoclase naturel, les autres s'éteignant sous un angle maximum de 30° comme le labrador naturel.

Il est remarquable que, lorsque nous fondons un mélange correspondant exactement à la formule de l'oli-

goclase, nous n'obtenions que des microlithes en possédant les propriétés optiques. Dès que nous nous écartons dans le sens basique de la formule de ce feldspath, immédiatement nous voyons apparaître des microlithes de labrador à l'exclusion de ceux d'anorthite, qui ne se montrent que quand la basicité du mélange dépasse celle du labrador.

Un autre fait qui ressort de nos expériences, est l'impossibilité pour l'albite de cristalliser par voie ignée, soit isolément, soit en associations avec l'oligoclase, tandis qu'associé à l'anorthite, l'albite cristalliserait avec la plus grande facilité, dès que la proportion d'anorthite fait descendre le mélange à la formule de l'oligoclase. Ce serait là une anomalie que l'on n'observe pas dans la production artificielle des autres séries isomorphes.

Dans ces mêmes expériences, nous avons vu se préparer, pour ainsi dire, sous nos yeux des faisceaux hétérogènes de microlithes différents, appartenant soit au labrador et à l'oligoclase, soit au labrador et à l'anorthite, et témoignant d'une organisation de grands cristaux réellement intermédiaires. Mais, d'une part, il y a ici visiblement un simple mélange mécanique ; et, d'autre part, ce mélange est assez rare ; car les microlithes de même espèce se recherchent et se groupent. N'est-ce pas là l'explication des feldspaths intermédiaires de composition complexe, sur l'observation desquels M. Tschermak et ses disciples étayent leur théorie, feldspaths dont les propriétés optiques affectent une constance que contredirait la variabilité même des données optiques de l'anorthite?

Quant aux propriétés physiques et chimiques de l'oligoclase et du labrador qui s'interpolent entre celles de l'albite et de l'anorthite, elles peuvent s'expliquer par ce fait que tous ces corps font partie d'une même série minérale, comparable aux séries de la chimie organique.

5° L'absence de certains types minéralogiques que la

nature semblerait devoir fournir, est souvent confirmée par les synthèses artificielles. Ainsi il nous a été impossible d'obtenir un oligoclase purement sodique, une néphéline potassique, fait surprenant si l'on songe particulièrement à l'isomorphisme relatif de la potasse et de la soude.

6° Par contre, certaines formes inconnues dans la nature ou très rares s'obtiennent artificiellement avec facilité : citons entre autres les phosphates parfaitement cristallisés obtenus par M. Debray, le quartz à pointements suraigus de M. Hautefeuille, la néphéline calcédonieuse de nos propres expériences.

7° L'un des services les plus considérables rendus par la minéralogie synthétique, consiste dans la production de séries plus complètes que les séries similaires naturelles ; le lien qui relie les espèces d'une même famille apparaît alors, et les limites de l'isomorphisme dans chaque cas particulier se montrent avec netteté.

C'est ainsi qu'Ebelmen a complété la série des spinelles et démontré la parenté des ferrites, des chromites et des aluminates.

Henri Sainte-Claire Deville et Caron ont constitué la double série des apatites et des wagnérites; M. Debray et M. Lechartier ont complété la synthèse de cette famille en reproduisant les apatites et wagnérites arséniées.

On doit à M. Debray un travail analogue sur les phosphates. L'importante famille des bisilicates a été étudiée à ce point de vue par M. Lechartier.

Les expériences de M. Hautefeuille et les nôtres ont montré l'extension de la famille des feldspaths (feldspaths à bases de lithine, baryte, strontiane et plomb).

MM. Friedel et Guérin, ont complété la famille de l'ilménite, du fer oligiste et du sesquioxyde de chrome, par la reproduction artificielle du sesquioxyde de titane.

Ils ont ainsi montré que le titane appartient à deux séries de corps simples: d'une part, à celle du silicium et de l'étain, et d'autre part, à celle du fer, du chrome et de l'aluminium.

En résumé, les détails qui précèdent suffisent pour montrer tous les services que la synthèse peut rendre à la minéralogie et à la géologie. Les paroles suivantes d'Ebelmen sont plus que jamais applicables:

« Les expériences déjà exécutées permettent de classer « définitivement au nombre des produits chimiques une « grande quantité de minéraux dont plusieurs sont des « pierres rares et précieuses. Elles établissent un lien de « plus entre deux sciences, la chimie et la minéralogie, « dont les points de contact sont déjà si nombreux. « Elles ne seront pas inutiles, je l'espère du moins, pour « éclairer le géologue dans l'appréciation des causes qui « ont présidé à la formation de telle ou telle espèce « minérale. »

La géologie est encombrée d'hypothèses dont l'observation pure, bien dirigée, restreint peu à peu le nombre; mais elle est souvent insuffisante pour trancher définitivement les questions douteuses ; car une observation est en réalité une expérience dont on n'a pu diriger la marche et dans laquelle on ne saisit que le fait accompli. La synthèse élargit le champ d'études et fournit parfois des solutions définitives; lors même qu'elle ne procure que des données négatives, elle dirige encore vers la solution du problème.

Il est facile de trouver des exemples qui éclaireront cette opinion. Le mode de formation des cristaux dans les roches volcaniques, après avoir donné lieu à de nombreuses controverses, a cependant été prévu par l'observation pure, depuis que le microscope est venu prêter son puissant concours à la pétrographie. Mais les reproductions synthétiques par fusion purement ignée ont

seules définitivement fixé la question pour la plupart de ces roches.

L'origine du granite est un des plus graves problèmes qui aient préoccupé les géologues; elle a suscité entre eux les discussions les plus vives. L'opinion qui faisait du granite une roche purement ignée, a prévalu dans la science pendant la première moitié de notre siècle ; elle remplaçait la théorie neptunienne de Werner. Mais elle se heurtait à des difficultés que l'observation elle-même n'a pas tardé à mettre en lumière ; ainsi on a reconnu que le quartz s'était consolidé postérieurement aux autres minéraux. C'est là une décisive objection contre l'hypothèse d'une fusion seulement ignée du granite, objection que Fournet a vainement essayé de tourner en invoquant une surfusion du quartz analogue à celle du soufre.

Élie de Beaumont[1] n'est pas éloigné d'admettre l'origine ignée du granite ; mais il accepte l'intervention de l'eau et insiste sur le nombre et la fréquence des minéraux sublimés à la périphérie des massifs granitiques. L'eau contenue sous forme d'inclusion dans le quartz, eau dont les découvertes de Sorby devaient, dix ans après, démontrer l'abondance, paraissait déjà à Élie de Beaumont un argument décisif en faveur de l'origine mixte du granite.

La synthèse est appelée à trancher la question ; déjà elle démontre rigoureusement l'impossibilité d'obtenir le granite par fusion purement ignée. Hutton, en fondant une syénite, avait obtenu un culot cristallin dont il n'avait pu déterminer les minéraux, mais qui n'offrait plus aucune ressemblance avec la roche originaire. Dans une de nos expériences, nous avons fondu un mélange par parties égales de microcline et de biotite. Nous avons obtenu un culot où, dans un faible résidu vitreux, appa-

1. *Émanations volcaniques et métallifères.* 1849.

raissent au microscope des cristaux de leucite, d'enstatite, de fer oxydulé, et probablement de pyroxène et de mélilite.

En outre, les expériences de M. Hautefeuille sur la reproduction du quartz à haute température et au sein d'un fondant, montrent qu'il affecte dans ces conditions des formes cristallines qui ne sont pas celles du quartz des granites.

Les essais faits par voie humide pour reproduire les roches acides même sous une forte pression et avec des températures allant jusqu'à 500°, prouvent d'un autre côté que l'application directe de la voie humide est insuffisante pour obtenir ces roches dans de pareilles conditions. Ainsi ces données négatives tracent des limites entre lesquelles doivent se mouvoir et les recherches expérimentales à venir, et les hypothèses des géologues.

Classification des méthodes de reproduction artificielle. — Les synthèses peuvent toutes être attribuées à l'un des cinq modes suivants:

I. Modifications moléculaires de corps à l'état solide.
II. — — — fondus.
III. — — — volatilisés.
IV. — — — dissous dans l'eau.
V. Combinaisons des modes précédents.

Dans chacun des cas, il convient de distinguer deux subdivisions suivant qu'il y a ou non réaction chimique.

I. *Modifications moléculaires de corps à l'état solide. A) Sans réaction chimique.* — Le soufre, l'acide arsénieux, le fer, fournissent des exemples bien connus de corps amorphes ou cristallins se transformant à l'état solide et prenant une structure différente de celle qu'ils possédaient à l'origine.

L'idée du mouvement incessant qui anime toute molécule matérielle, se concilie bien avec de pareils exemples de travail moléculaire. Les variations de densité et de

chaleur latente que l'on constate dans ces cas, peuvent être considérées comme des conséquences de ces changements d'état de la matière.

B) *Avec réactions chimiques.* — La plupart des cas que l'on pourrait citer ici, sont sujets à caution et rentrent dans les méthodes par volatilisation ou dissolution, avec intervention d'un de ces agents liquides ou gazeux en minime quantité, dont Henri Sainte-Claire Deville a fait ressortir le rôle, en leur donnant le nom de minéralisateurs. Ainsi, dans la célèbre expérience de Hall sur la reproduction du marbre, il semble que le carbonate de chaux n'ait éprouvé aucune transformation chimique. Il ne peut être ici question d'une fusion que l'observation dément. Mais on sait, d'après les expériences de M. Debray, qu'à une température déterminée et en vase clos, la décomposition du carbonate de chaux ne s'opère que d'une manière incomplète; elle s'arrête quand l'acide carbonique dégagé atteint une tension déterminée. On peut donc supposer que l'acide carbonique se recombine avec la chaux pour former un composé cristallin, tandis qu'une quantité équivalente d'acide carbonique est mise en liberté par le carbonate de chaux initial, de manière à maintenir la tension constante. Ici l'acide carbonique est le minéralisateur.

II. *Modifications moléculaires de corps fondus. A*) *Sans réaction chimique.* 1°) *Sans dissolvant.* — Un grand nombre de corps cristallisent par refroidissement après fusion d'une masse homogène. C'est ainsi, par exemple, qu'on fait cristalliser le soufre, le bismuth, la stibine, le péridot, l'augite, la néphéline, la leucite, les feldspaths tricliniques.

Lorsque la cristallisation est facile, on peut écouler une partie du liquide avant la consolidation totale et obtenir des cristaux isolés à la façon de ceux des druses. Ce procédé n'est applicable que quand le corps passe rapidement

de l'état liquide à l'état solide. Mais souvent la cristallisation s'opère lentement et alors il semble s'établir un état visqueux intermédiaire. Les éléments chimiques qui constitueront le cristal, se concentrent d'abord; des produits à formes arrondies (globulites) s'isolent, puis se groupent entr'eux en donnant naissance à des arborisations (cristallites). Enfin ces groupes prennent des surfaces polyédriques et le cristal apparaît (microlithes).

Ces différents phénomènes peuvent être suivis pas à pas dans la production artificielle de la leucite par voie de fusion ignée. Il ne suffit pas d'avoir amené le corps à l'état de fusion complète et de le laisser refroidir pour obtenir la succession des phénomènes ci-dessus décrits; quand le corps est complexe, l'élaboration du premier temps peut avoir besoin d'être très prolongée; plus on la fait durer et plus il semble que les temps consécutifs s'abrègent. Ainsi, si l'on fond[1] le mélange constitutif de la leucite à très haute température, et si on le laisse refroidir sans le maintenir plusieurs heures à l'état visqueux, on n'obtient qu'un verre homogène. Si au contraire la matière fondue est maintenue pendant 24 heures à une température un peu inférieure à celle de la fusion du produit cristallisé, quand on retire le creuset, le culot qu'il contient semble encore homogène; mais une élaboration intime s'y est effectuée: tout à coup on le voit se hérisser de pustules cristallines, d'où partent rapidement des arborisations cristallitiques dont on peut suivre les progrès à la loupe.

Il est évident que le mot de dévitrification ne peut s'appliquer à des phénomènes de ce genre; car il s'agit ici non d'un solide vitreux acquérant une structure cristalline, mais bien d'une substance passant de l'état liquide à l'état solide. Le mot de sous-fusion, proposé

1. Voir *Bull. Soc. minér.*, n° 5. 1880.

par M. Friedel, rend mieux compte de la phase que traverse le liquide, immédiatement avant la génération des formes cristallines et pendant l'élaboration des cristallites.

2°) *Fusion avec dissolvant sans réaction chimique exercée par lui.* — Ce cas est rare, car en général le dissolvant exerce une réaction chimique par lui-même. Cependant la cristallisation de l'apatite dans le chlorure de calcium (Deville) ou de sodium (Forschhammer), celle des péridots et des pyroxènes dans le chlorure de calcium (Lechartier) nous paraissent des exemples incontestables de ce mode d'opération. Le fondant ne sert qu'à donner, à haute température, la mobilité nécessaire aux éléments du corps dont on poursuit la cristallisation.

C'est aussi de cette façon que le charbon se transforme en graphite dans la fonte de fer. M. Margottet a réalisé la cristallisation de la proustite et de l'argyrithrose en se servant du soufre comme dissolvant; dans ce corps fondu, il introduit à l'état de poudre fine les substances en question. Le soufre est porté à sa température d'ébullition, puis soumis à plusieurs alternatives de refroidissement et de réchauffement; dans ces conditions, les cristaux augmentent de volume et on les isole en volatilisant l'excès de soufre.

Dans la plupart des expériences d'Ebelmen, il semble que les choses se sont ainsi passées, et c'est même de la sorte que l'illustre chimiste expliquait son mode opératoire; cependant il est probable que l'action de l'acide borique, employé par lui, est plus compliquée et rentre dans l'ordre des phénomènes décrits au paragraphe suivant.

B) *Fusion avec réactions chimiques.* — Toutes les fois que des éléments se réunissent pour former un composé défini, il y a nécessairement réaction chimique; mais ici nous considérons surtout l'intervention d'un corps étran-

ger dont il convient de se débarrasser après qu'il a déterminé, en général par deux réactions successives et opposées, la cristallisation du produit cherché. C'est donc un cas particulier de l'action exercée par ces minéralisateurs, dont nous avons déjà parlé plus haut.

M. Hautefeuille a obtenu par ce procédé l'orthose, l'albite, le quartz, la tridymite, la leucite en faisant intervenir les tungstates et vanadates alcalins. La réaction paraît avoir pour base l'antagonisme des acides silicique et tungstique ou vanadique à haute température. Dans la production du quartz par exemple, il se forme d'abord un silicate avec mise en liberté de l'acide tungstique et celui-ci, reprenant à son tour le dessus, abandonne la silice dans un état moléculaire qui lui permet de cristalliser. De faibles variations de température, dans des limites déterminées, facilitent ce double échange.

Ordinairement le fondant minéralisateur ne laisse dans le composé produit aucune trace de son action. Cependant l'inverse se présente parfois. Ainsi dans la synthèse de l'albite, le tungstate de soude fournit l'alcali nécessaire.

III. *Modifications moléculaires de corps volatilisés.* *A*) *Volatilisation proprement dite.* — La chaleur seule suffit pour volatiser et faire cristalliser par sublimation un certain nombre de corps, tels que le soufre, l'arsenic, l'acide arsénieux, le sublimé corrosif, la blende, le cinabre, le calomel, le réalgar. La plupart de ces produits étaient connus des anciens alchimistes.

L'intervention d'un gaz inerte favorise souvent le transport à distance des corps peu volatils. Ainsi M. Sidot a démontré que la sublimation de la blende se fait à plus basse température dans un courant d'azote, et cela sans aucune action chimique.

Les transports de ce genre s'effectuent dans la nature sur une grande échelle; c'est ainsi que l'acide borique

des soffioni est amené par la vapeur d'eau, et l'on ne peut guère expliquer autrement la formation de l'anorthite, du pyroxène et d'un grand nombre d'autres minéraux cristallisés que l'on recueille dans les cheminées volcaniques. Cependant il faut se défier des gaz que l'on suppose inertes; il est possible que des réactions mal connues interviennent et facilitent ces transports.

B) *Volatilisation avec réactions chimiques.* 1° *Action réciproque des gaz et des vapeurs.* — Le type de ces réactions nous est fourni par la célèbre expérience de Gay-Lussac, dans laquelle le perchlorure de fer et la vapeur d'eau, réagissant l'un sur l'autre, donnent naissance au fer oligiste.

Les expériences de Durocher (production des sulfures par l'action de l'hydrogène sulfuré sur les chlorures au rouge), de M. Daubrée (action de la vapeur d'eau sur les chlorures et fluorures, production de la cassitérite, du rutile) sont aussi des exemples heureux de ce mode d'opération.

2° *Action d'une vapeur ou d'un gaz sur un solide.* — La vapeur ou le gaz employés peuvent se fixer sur le corps solide, et donner naissance à des produits qui n'éprouvent plus de décomposition ultérieure; tel est le cas des expériences de M. Margottet, par lesquelles il a reproduit les sulfure et séléniure d'argent en faisant arriver de la vapeur de soufre ou de sélénium, à la température du rouge sombre, sur l'argent métallique en présence d'un courant d'azote.

Il peut aussi y avoir réaction et production d'un nouveau composé gazeux qui s'élimine sans intervenir de nouveau; tel est le cas de la production de l'argent filiforme, obtenu par M. Margottet, en faisant agir l'hydrogène sur le sulfure d'argent à une température supérieure à 450°.

Mais le mode de beaucoup le plus important est celui

dans lequel la vapeur ou le gaz employés interviennent comme agents d'une série de combinaisons et de décompositions successives, de manière à sortir intacts après avoir déterminé une transformation complète des solides en expérience. Henri Sainte-Claire Deville est le premier qui ait mis en lumière cette méthode ingénieuse; elle lui a fourni les résultats les plus remarquables; c'est ainsi qu'il a produit des cristaux de fer oxydulé, de corindon, de zircon, de silicate d'alumine. Il nous paraît intéressant de citer la définition qu'il donne lui-même de sa méthode :

« Parmi les matières gazeuzes que nous rencontrons « dans la nature, il en est quelques-unes qui, sans se fixer « sur aucune des substances qu'elles touchent, les trans- « forment ou les transportent, en les transformant en « matières minérales absolument semblables à celles « que l'on rencontre dans la nature. C'est le rôle que j'ai « fait jouer à l'hydrogène dans la formation du zinc oxy- « dé, de la blende et au fluorure de silicium pour la for- « mation du zircon. C'est le rôle qui convient aussi à « l'acide carbonique dans la formation des calcaires par « dissolution et dans la reproduction des carbonates « métalliques dus à M. de Sénarmont. Ce sont ces sub- « stances que je propose d'appeler agents minéralisateurs; « je les caractérise par cette perpétuité de leur action qui « se continue indéfiniment jusqu'à ce qu'elle soit fixée « par des matières autres que celles sur lesquelles elles « sont appelées à réagir pour ainsi dire par leur seule « présence. Ces substances, quand elles existent dans la « nature, ce qui permet de les faire entrer dans les hy- « pothèses de la géologie, sont toutes compatibles avec « l'eau qu'on rencontre en effet partout, et l'eau n'annule « et n'amoindrit jamais leur effet spécial [1]. »

1. *C. R.*, t. LII, p. 1264. 1861.

IV. *Modifications moléculaires de corps dissous dans l'eau.* — *A*) *Sous pression ordinaire.* 1° *Évaporation ou volatilisation.* — C'est le procédé généralement employé en chimie et qui, dans la nature, a fourni en grandes masses, les chlorures de sodium et de potassium et certains gypses.

2° *Semis dans une solution sursaturée.* — C'est à M. Gernez que l'on doit la découverte de ce mode curieux de cristallisation. Ce savant a, jusqu'à présent, borné ses expériences aux produits artificiels de la chimie, mais, sans aucun doute, la nature a employé et emploie journellement ce mode opératoire. Il est probable que la cristallisation du quartz s'effectue parfois sous de pareilles influences : il existe toute une classe de roches porphyriques dans lesquelles le quartz se présente sous deux états; d'une part, il se montre en cristaux anciens, bipyramidés, souvent usés et brisés par les actions mécaniques qu'il a subies; d'autre part, le microscope décèle autour de ces débris des groupes quartzeux, dont les éléments de consolidation bien postérieure sont optiquement orientés comme le débris central; ce dernier a donc été le point de départ d'une nouvelle cristallisation, il a servi de germe à une seconde poussée cristalline, dont il a déterminé l'arrangement.

3° *Variations de température.* — La solubilité de la plupart des corps varie avec la température; généralement elle est plus grande à chaud qu'à froid. De là résulte un moyen habituellement employé pour obtenir la cristallisation des sels dans les laboratoires.

Henri Sainte-Claire Deville, en soumettant, en présence de l'eau, à des variations multiples de température entre 0° et 100°, des poudres de substances peu solubles, telles que le chlorure d'argent, la sénarmontite, etc., les a transformées en cristaux de grande dimension. Il se produit ici un phénomène de transport analogue à celui qu'exercent les minéralisateurs : la substance amorphe disparaît peu à

peu au profit de la substance cristallisée; il semble donc que la première soit plus soluble que la seconde. En réalité, nous devons faire observer que la plupart des précipités de la chimie, dits amorphes, sont des poudres cristallines d'une ténuité extrême; le phénomène se réduit donc au développement d'un gros cristal qui semble dévorer les petits. L'effet de la solubilité augmente avec l'étendue des surfaces; par conséquent les petits cristaux doivent se dissoudre plus vite à poids égal; de plus, la masse plus grande du gros cristal est favorable à son accroissement au moment où, par suite d'un abaissement de température, la cristallisation reprend sa marche. On conçoit, dès lors, qu'une quantité d'eau limitée puisse servir indéfiniment à nourrir un gros cristal aux dépens d'une poussière cristalline.

Les expériences de cristallisation des phosphates dues à M. Debray, sont fondées sur le même principe.

4° *Réactions chimiques.* — Le type le plus fréquent consiste dans la précipitation par double décomposition, ou encore par dissociation. C'est ainsi que Gustave Rose a constaté la formation de la calcite et de l'aragonite par décomposition du bicarbonate de chaux en présence de l'eau à diverses températures. Cet exemple montre l'influence de la température sur la forme cristalline du composé obtenu. Les expériences de Charles Sainte-Claire Deville sur la cristallisation du soufre, dans le sulfure de carbone et la benzine, prouvent cependant qu'à température égale les différences de milieu suffisent pour expliquer des différences de cristallisation.

La plupart des substances cristallines naturelles sont peu solubles dans l'eau; par conséquent, pour obtenir leur cristallisation par voie aqueuse, il faut recourir à des précautions spéciales ; l'un des procédés les plus intéressants consiste à obtenir des réactions lentes au moyen de liquides très dilués et mis progressivement en contact.

Becquerel et M. Frémy ont atteint ce résultat par diffusion, par dialyse, ou encore en établissant le contact à travers des vases simplement fêlés. M. Macé s'est servi de deux dissolutions mises en communication par une mèche d'amianthe. C'est ainsi qu'on a fait cristalliser, le sulfate de baryte, le spath fluor, l'anglésite, la cérusite, la calcite.

L'emploi de faibles courants électriques, mis en pratique par M. Becquerel, fournit également des réactions lentes appartenant à cette catégorie de phénomènes.

B. Emploi de l'eau sous haute pression. — L'usage des hautes pressions en vase clos a pour effet d'augmenter la solubilité des substances mises en présence, et d'accroître certaines affinités chimiques.

C'est à Schafhäutl que l'on doit les premières expériences par voie humide effectuées sous pression (1845); il a tenté d'obtenir du quartz en chauffant de la silice gélatineuse dans la marmite de Papin. Mais c'est Sénarmont (1850) qui a rendu cette méthode réellement pratique; on lui doit la reproduction de la plupart des minéraux filonniens considérés, comme insolubles, et en particulier, du quartz, des carbonates, des sulfures, du spath fluor. Depuis lors la même méthode a été perfectionnée par M. Daubrée et, dans ces derniers temps, par MM. Friedel et Sarasin, et leur a fourni le quartz, la tridymite, et l'orthose.

V. *Combinaisons des méthodes précédentes.* — Il est certain que la nature ne s'est pas bornée à employer séparément chacun des différents procédés énumérés plus haut. On peut classer les produits naturels en quatre catégories principales :

1° Minéraux des roches volcaniques.

2° Minéraux des roches acides et notamment du granite.

3° Minéraux des roches métamorphiques et notamment des gneiss et des schistes micacés.

4° Minéraux des filons concrétionnés.

Les modes de reproduction artificielle compris dans notre énumération, ne s'appliquent qu'à la première et à la quatrième catégorie : les minéraux et les associations des roches volcaniques ont été pour la plupart reproduits par fusion; ceux des filons l'ont été par volatilisation ou dissolution.

Il reste donc deux catégories importantes de roches sur lesquelles on ne possède encore que bien peu de documents synthétiques. Nous sommes cependant convaincus que la nature n'a employé aucun moyen qui ne soit analogue à ceux qui sont usités dans les laboratoires : pour les températures, à la pression ordinaire, on dispose de moyens de chauffage capables de fondre toutes les roches connues et par conséquent plus que suffisants pour favoriser la cristallisation de leurs éléments. Quant aux pressions, elles nous semblent surtout utiles pour modifier les volatilisations, empêcher les dissociations, et par conséquent pour amener un contact plus intime des éléments dont on veut favoriser la combinaison. Or, jusqu'aux températures de 400 à 500°, on dispose évidemment des pressions suffisantes pour obtenir ce résultat; mais à partir de la température du rouge sombre, nos tubes en acier ou en fer forgé perdent toute résistance et se boursouflent ou éclatent. L'emploi simultané d'une température élevée et d'une forte pression, qui est peut être la condition nécessaire et suffisante de la reproduction des roches acides et des roches métamorphiques, n'a donc pas encore été réalisé jusqu'à présent dans les laboratoires.

II

REPRODUCTION ARTIFICIELLE DES ROCHES ÉRUPTIVES

1798-1805. James Hall. — **1804.** Grégory Watt. — **1866.** Daubrée. — **1878-1881.** F. Fouqué et Michel Lévy. — **1879-1881.** Friedel et Sarasin. — **1880.** Sorby.

L'observation indique que les roches éruptives naturelles doivent leur origine à des procédés divers ; jusqu'à présent, la fusion ignée a seule conduit à des déductions certaines. Les indications tirées de la reproduction des minéraux isolés par d'autres voies ont fourni seulement des inductions probables sur la manière d'obtenir leurs associations.

Voie aqueuse sous pression. — L'emploi de l'eau surchauffée n'a développé, d'après **M. Daubrée**[1], aux dépens des verres basiques, que des sphérolithes de calcédoine, des cristaux isolés de quartz, de diopside et de zéolithes ; elle s'est montrée sans action sur les roches et les minéraux acides. La décomposition des silicates alcalins en dissolution dans l'eau surchauffée ne produit également que du quartz et des enduits siliceux.

Des essais du même genre ont été faits par **Vogelsang**[2].

1. *Études synthétiques*, Paris, Dunod, 1879, p. 158.
2. *Philosophie der Geologie.* Bonn. 1867.

Le schiste argileux de Saint-Goar, surchauffé au sein d'une dissolution de bicarbonate de soude, n'a donné lieu à aucune transformation cristalline; il convient cependant d'ajouter que l'imperfection du mode opératoire rendait le succès presque impossible.

MM. Friedel et Sarasin[1] ont récemment obtenu l'association du quartz et de l'orthose en chauffant en vase clos, en présence de l'eau alcalinisée, les éléments constitutifs de ces minéraux. Ils ont employé un mélange de silicate de potasse, de silicate d'alumine et d'eau. La poudre cristalline obtenue, traitée par l'acide chlorhydrique bouillant, se montre composée de quartz bipyramidé, associé à des lamelles nacrées d'orthose, présentant la plupart des formes habituelles à ce feldspath, sauf la macle de Carlsbad. Dans une des expériences, durant laquelle une fermeture incomplète a permis à l'eau de s'échapper peu à peu, le quartz s'est montré en cristaux raccourcis avec prédominance des faces de la pyramide, comme il se présente dans les micro-granulites, les porphyres pétrosiliceux, les rhyolithes, etc.

Nous considérons donc les expériences de MM. Friedel et Sarasin comme ouvrant la voie des reproductions artificielles des roches cristallines acides. La forme du quartz ainsi obtenu et son association avec l'orthose sont, à ce point de vue, des faits d'une extrême importance. Nous ajouterons que l'intervention de l'eau et de la pression, dans la formation de ces roches naturelles, est attestée par les inclusions d'eau et d'acide carbonique liquide que l'on y observe. Jusqu'à présent, la tentative faite par MM. Friedel et Sarasin est la seule qui fournisse un point de départ assuré aux recherches ultérieures.

Cependant les auteurs de cette remarquable expérience ont eux-mêmes tracé la limite des déductions à en tirer

1. *Bull. Soc. minéral.*, 1879. p. 113 et 158. — 1880, p. 25. — 1881, p. 171.

quant à présent : « La difficulté, disent-ils, que nous « avons rencontrée à reproduire ces résultats à volonté et « à obtenir des cristaux d'une dimension un peu notable, « montre que si nous nous sommes peut-être plus rap- « prochés des procédés naturels que ne l'a fait M. Hau- « tefeuille, dans ses belles recherches sur la reproduction « des feldspaths, nous n'avons pas encore trouvé d'une « manière complète les véritables conditions de la pro- « duction de l'orthose. »

A ces observations, nous pouvons en ajouter quelques autres, résumant les desiderata de la question. Le quartz des reproductions artificielles par voie humide offre encore trop fréquemment un développement exagéré des faces du prisme; c'est du quartz de filon et non de roche éruptive. Les variétés granitiques et granulitiques de ce minéral, si prédominantes dans la nature, manquent ici totalement. L'absence de la macle caractéristique de Carlsbad dans l'orthose constitue une objection grave contre l'assimilation du produit artificiel aux roches naturelles. De plus, il y a défaut de prise en masse, tandis que les roches cristallines acides sont au contraire remarquablement massives et généralement dépourvues de vacuoles. Enfin, dans les associations artificielles, les micas font défaut jusqu'à présent.

Voie chimique à haute température. — On doit à **M. Hautefeuille**[1] une reproduction simultanée de l'orthose et du quartz, qui, bien que s'écartant des conditions probables de genèse naturelle, n'en a pas moins l'avantage de jeter un jour sur le rôle que la chaleur a pu jouer dans la formation des roches acides. M. Hautefeuille ayant obtenu, d'une part, le quartz et la tridymite et, d'autre part, l'orthose et l'albite cristallisés dans les tungstates et les vanadates alcalins fondus, a essayé de remplacer

1. *Comptes rend.*, 1880, p. 830.

ces sels par les phosphates. Le silico-aluminate de potasse cristallise par dissolution apparente vers 1000°, dans les phosphates de soude et de potasse, sous les formes propres à l'adulaire. Mais la silice, à cette température, ne se sépare que sous forme de tridymite. L'addition d'une substance fluorée abaisse la température des réactions et permet d'obtenir simultanément le quartz et l'orthose. Les faces les plus développées du quartz sont e^2, p, $e^{1/2}$; les stries des pans du prisme sont très accusées; l'orthose, fritté ou pierreux, est maclé suivant la loi de Carlsbad.

L'apatite est le seul minéral phosphaté et fluoré qui se trouve en quantité appréciable dans les roches; mais son abondance n'est jamais telle qu'on puisse la considérer comme ayant joué le rôle de dissolvant par rapport aux silicates; ajoutons que la cristallisation de l'apatite a précédé celle du quartz et des silicates dans toutes les roches; ce minéral ne peut donc être considéré comme ayant eu une influence quelconque sur leur développement, même à titre de minéralisateur.

En résumé, on voit que ni la voie humide au-dessous du rouge, ni les réactions chimiques au sein de sels fondus, n'ont jusqu'à présent rendu compte d'une façon tout à fait satisfaisante de la genèse des roches acides, à laquelle on a songé à les appliquer. Elles n'ont pas encore éclairé l'origine des granites, granulites et porphyres, en un mot de toutes les roches dans lesquelles il existe du quartz avec inclusions aqueuses; elles n'ont pas même abouti à combler les lacunes laissées dans la série volcanique par les expériences de fusion ignée, c'est-à-dire à reproduire les phonolithes et les trachytes.

Voie ignée. — C'est à **James Hall**[1] que l'on doit les pre-

1. *Experiments on whinstone and lava*, 1798.— *Edinb. Roy. Soc. Trans.*, t. V. 1805, p. 8 et 56.

mières tentatives de reproduction des roches éruptives par voie ignée. Il les entreprit pour réfuter les idées de Hutton qui considérait que l'on ne pouvait ainsi reproduire que les roches vitreuses. Ses expériences consistaient à fondre, dans un creuset de graphite, différentes roches éruptives, des whinstones (roches basiques cristallines), des basaltes, des laves d'Islande, de l'Etna, du Vésuve. Il constate que, par refroidissement brusque, on obtient des verres, et par refroidissement lent, des masses cristallines. Il croit même reconnaître que le whinstone se régénère sous l'influence d'un recuit prolongé à une température élevée, mais inférieure à celle de la fusion, et remarque que les whinstones primitifs fondent à une température de 38 à 55° du pyromètre de Wedgwood, leurs verres de 15 à 24°, et les roches artificielles de 31 à 45°. La différence entre la fusibilité des produits cristallisés, naturels et artificiels, témoigne qu'il existait encore entre eux une certaine différence minéralogique, bien que la composition chimique fût restée identique.

James Hall signale ce fait que, pour obtenir des produits nettement cristallisés, il est avantageux de faire osciller, pendant le recuit, la température de 21 à 23° du pyromètre.

Pour la fusion et le recuit des basaltes, il s'est servi de températures beaucoup plus élevées, 100 et 60° du pyromètre, et a obtenu une masse porphyroïde dans laquelle il croit reconnaître des cristaux de feldspath et de hornblende, surtout apparents dans les géodes.

M. Daubrée a bien voulu confier à notre examen[1] les culots provenant des expériences de James Hall, qui étaient en sa possession. Dans la plupart de ces produits taillés en lames minces, nous avons constaté seulement

1. Fouqué et Michel Lévy. — *Comptes rend.*, mai 1881.

des commencements de cristallisation. L'échantillon le mieux cristallisé provient de la fusion d'un whinstone d'Édimbourg; la roche primitive contenait de grands cristaux de péridot et de fer oxydulé, des microlithes de labrador, d'augite et de fer oxydulé. Le culot de James Hall montre au microscope des cristaux incomplets de péridot en voie de formation, sous l'apparence de squelettes souvent évidés dans leur partie centrale; on y voit en outre de fins microlithes de labrador, généralement groupés en sphérolithes et des granules de fer oxydulé; la matière amorphe est beaucoup plus abondante que dans la roche naturelle. Et cependant le culot a perdu toute apparence vitreuse; il est grenu et paraît cristallin à l'œil nu. Les seuls cristaux visibles à la loupe sont les squelettes de péridot.

Grégory Watt[1] entreprit à peu près à la même époque des expériences analogues sur des quantités beaucoup plus considérables de basalte fondu. L'opération se faisait dans un four à réverbère; le poids de la matière fondue atteignait 700 livres; la fusion durait six heures, et le refroidissement se prolongeait pendant huit jours sous un manteau de charbon qu'on laissait se consumer lentement. La masse en expérience avait $1^m,20$ de long, 0^m80 de large et $0^m,50$ d'épaisseur.

Gregory Watt décrit les produits successifs de ce long refroidissement; le verre noir primitif se charge de sphérolithes moins foncés, disposés en traînées allongées. Les sphérolithes augmentent de volume, leur diamètre atteint 6 centimètres et leur structure est nettement radiée. Puis la masse comprise entre les sphérolithes devient pierreuse. Enfin la structure se montre purement grenue; la masse est envahie par des lamelles cristallines très

1. *Observations on basalt and on the transition from the vitreous to the strong texture which occurs in the gradual refrigeration of the melted basalt, with some geological remarks.* — *Phil. Trans.*, 1804, p. 279.

minces, dont quelques-unes ont jusqu'à 1 millimètre de longueur sur 0mm,3 de largeur. La densité va croissant de 2,743 à 2,949 et le pouvoir magnétique est de plus en plus marqué.

Gregory Watt conclut de ses expériences que la fluidité n'est pas nécessaire au moment des arrangements moléculaires définitifs, et que les particules des corps en apparence solides sont susceptibles de quelques mouvements intérieurs.

On voit que, dans ces remarquables recherches de James Hall et de Gregory Watt, l'incertitude des résultats tient à l'imperfection des moyens de détermination des minéraux formés en masse, et à l'impossibilité de constater avec précision leur mode d'agencement. Ce qui ressort de leurs expériences, c'est la possibilité d'obtenir des produits cristallins par un recuit prolongé de roches basiques naturelles fondues. D'après les essais plus récents. on peut présumer que les cristaux visibles à l'œil nu, les seuls dont Hall et Watt aient connu l'existence, étaient le pyroxène, le péridot et peut-être l'enstatite. Il n'est pas probable qu'ils aient obtenu le feldspath en grands cristaux.

En même temps que Gregory Watt, **Dartigues**[1] publiait ses expériences sur la dévitrification du verre. Puis viennent les recherches de **Fleuriau de Bellevue**[2] « sur l'action du feu dans les volcans », celles de **Drée**[3] « sur un nouveau genre de liquéfaction ignée ». Notons aussi les observations de **MM. Dumas, Pelouze, Peligot, Bontemps** et **Clémenceau** sur la dévitrification du verre. **Vogelsang** a appliqué à ces études les nouvelles méthodes microscopiques et découvert dans les culots de verrerie les cristallites, les globulites, etc.

1. Dartigues. *J. de ph.*. t. LIX. — *Ann. de ch.*, t. L, 1805.
2. Fleuriau de Bellevue, *J. de ph.*, t. LX, 1805.
3. De Drée, *J. des mines*, t. XXIV, 1808.

Signalons enfin les expériences de **Mitscherlich, Gustave Rose, Charles Sainte-Claire Deville** et **Delesse** sur la fusion des roches.

Les obstacles qui avaient arrêté James Hall et Gregory Watt dans la reproduction des roches cristallines ont après eux découragé les expérimentateurs, et jusque dans ces derniers temps, aucun essai n'a plus été tenté pour obtenir des associations minérales par voie ignée ; il est du reste à remarquer que ces mêmes obstacles paralysaient également l'essor de la pétrographie, en rendant impossible l'étude approfondie des roches à structure compacte.

On se bornait alors à l'examen des produits cristallins qui se forment fréquemment dans les laitiers des hauts fourneaux : péridot, pyroxène, humboldtilite, enstatite, wollastonite et grenat mélanite. Les dimensions notables de ces cristaux et parfois leur isolement au sein des druses en permettaient l'étude à l'aide des moyens dont disposait alors 'a minéralogie.

La croyance à l'impossibilité d'obtenir les feldspaths par fusion ignée était la cause principale de découragement, car cette famille de minéraux constitue la base du plus grand nombre des roches éruptives. Les essais infructueux de Mitscherlich et de G. Rose accréditaient cette opinion et, en 1858, Léonhard, dans son traité classique sur les produits cristallins obtenus dans les fourneaux de l'industrie, se faisait encore l'écho de cette doctrine décourageante.

En 1866, **M. Daubrée** commence une longue et intéressante série d'expériences ayant pour but de reproduire par voie ignée les météorites dépourvues de feldspath et les roches terrestres qui leur ressemblent. En fondant la lherzolithe, il obtient[1] « des masses qui reproduisent

1. *Études synthétiques de géologie expérimentale*, p. 518.

« à s'y méprendre la roche naturelle, avec cette diffé-
« rence que l'on remarque, à la surface et dans l'intérieur,
« des aiguilles d'enstatite que l'on ne distinguait pas avant
« la fusion. » Cette différence nous paraît due à un détail du mode opératoire suivi. Nous indiquerons plus loin comment elle peut être évitée.

Quant aux météorites dépourvues de feldspath, M. Daubrée tout en constatant l'extrême ressemblance des produits artificiels avec les météorites naturelles correspondantes, fait ses réserves relativement à une assimilation complète. Il dit[1] que, dans ses expériences de fusion avec réduction, « les météorites ont été imitées dans les traits généraux de leur composition » et que « certains détails intimes de leur structure se sont même trouvés reproduits. » Il ajoute que c'est une nouvelle confirmation des analogies qui existent entre leur mode de formation et les procédés mis en œuvre dans ses expériences.

Mais, rappelant ensuite le développement anormal des cristaux d'enstatite et l'état trop souvent globuleux du fer dans les culots artificiels, il pense[2] que cette différence est assez importante pour permetttre d'attribuer aux météorites un mode de formation différent de celui que comporte la fusion purement ignée. « S'il était permis,
« dit-il, de chercher quelque analogie autour de nous,
« nous dirions que les cristaux obtenus par la fusion des
« météorites rappellent les longues aiguilles de glace
« que l'eau liquide forme en se congelant, tandis que la
« structure à grains fins des météorites naturelles du
« type commun ressemble plutôt à celle du givre ou de
« la neige, formée, comme on le sait, par le passage
« immédiat de la vapeur d'eau atmosphérique à l'état

1. *Loc. cit.*, p. 522.
2. *Loc. cit.*, p. 583.

« solide, ou encore à celle de la fleur de soufre, soli-
« difiée dans des conditions analogues. »

L'emploi d'une température trop élevée, suivi d'un refroidissement trop rapide, est pour nous la cause des différences de structure signalées. Nous considérons donc la voie ignée, employée dans des conditions réductrices convenables, comme conduisant réellement à la reproduction artificielle des météorites. On verra plus loin que nous sommes parvenus à reproduire, ainsi, même les types feldspathiques; et quant à l'opinion qui attribue leur formation à une condensation brusque de vapeurs, elle ne nous paraît pas justifiée par les expériences récentes de M. Stanislas Meunier[1].

Du reste ces expériences ne réalisent ni la réaction mutuelle de substances simples, volatilisées à haute température, ni la condensation brusque qui, l'une et l'autre, paraissent l'objectif de ce savant. Nous ne pouvons y voir que l'action de corps volatils complexes (chlorures, vapeur d'eau) entre eux ou sur un corps solide (aluminium). Il est à remarquer d'ailleurs que les produits obtenus s'éloignent bien plus des minéraux naturels, inhérents aux roches, que ceux qui se sont formés sous l'influence de la voie ignée. Ils ne présentent ni le mode d'association ni les formes recherchées. La présence du produit le plus constant des météorites, l'enstatite, y est douteuse. Le bisilicate magnésien, obtenu par cette voie, est monoclinique et doit être rangé par conséquent dans la classe des pyroxènes.

L'assimilation entre les météorites et les roches de fusion ignée est d'ailleurs justifiée par l'exemple de la dolérite à fer natif d'Ovifak, dont l'analogie de composition et de structure avec les météorites est incontestée, puisque même elle a été longtemps prise pour une

1. *Comptes rend.*, 1880, t. XC. p. 349 et 100

météorite. Cette dolérite est en coulées à la façon des roches volcaniques et ne se présente nullement, comme on l'a affirmé à tort[1], en fragments enclavés dans le basalte ; le fer fait partie intégrante de cette roche terrestre et paraît dû à une action réductrice locale[2].

Du reste, nous croyons que la différence capitale et peut-être même la seule qui existe entre les météorites et les produits similaires de fusion ignée, est une différence de structure qui tient à des circonstances particulières, que nous allons discuter ; les météorites sont le plus souvent bréchiformes, tandis que, dans les roches de fusion ignée, une partie seulement des éléments, ceux de première consolidation, présente en général des indices de dislocation.

Toute la différence tient donc à la proportion relative de la partie solidifiée, au moment de la trituration mécanique subie dans les deux cas. Elle ne peut être considérée comme établissant une démarcation tranchée entre les deux ordres de produits, puisque d'une part, dans les météorites on rencontre des parties qui ne sont pas bréchiformes, et d'autre part, certaines roches éruptives terrestres, anciennes ou modernes, ne sont que des brèches microscopiques dues à des actions mécaniques postérieures à leur consolidation. Telles sont certaines variétés de granulites (protogine) des Alpes, brisées jusque dans leurs éléments les plus ténus par les mouvements qui ont ébranlé la région ; telles sont encore les brèches microscopiques qui s'observent exceptionnellement dans presque tous les genres de roches volcaniques.

La fréquence de ce phénomène dans les météorites peut

1. *La Nature*, n° 390 ; 20 novembre 1880.
2. L. Smith, *Mémoire sur le fer natif du Groenland et sur la dolérite qui le renferme.* — *Ann. de ph. et ch.*, 5e série, t. XVI, 1879.

être rapportée soit au mouvement explosif qui les a lancées dans l'espace, soit à l'énorme pression qu'elles subissent en traversant l'atmosphère terrestre, soit même à l'agglutination de parties individuellement formées par fusion ignée.

En somme, malgré les doutes émis par M. Daubrée lui-même, il nous paraît constant que ses expériences ont tracé la voie qui conduit à la reproduction par fusion ignée des lherzolithes et des météorites sans feldspath.

Ces expériences n'ont pas été poursuivies et l'étude synthétique des roches de la série volcanique n'a été abordée que dans ces derniers temps. On les considérait pour la plupart comme des roches pseudo-ignées, dans la formation desquelles l'action de la chaleur se mariait intimement à celle de la vapeur d'eau qui passait pour indispensable.

Delesse est l'un des géologues qui ont développé cette opinion avec le plus de vigueur. « Lorsqu'une roche a « une origine ignée, il ne faut pas, dit-il, admettre « qu'elle a été amenée à l'état de fusion par la chaleur « seule » ; l'eau est intervenue dans sa formation. « La « nature offre tous les passages entre les laves ignées « et les laves boueuses. » Le basalte et le rétinite sont les deux principaux types des roches pseudo-ignées ; le basalte « est en grande partie formé par une pâte feld- « spathique hydratée[1]. »

M. Daubrée n'est pas moins explicite, quand il expose les conditions qui ont présidé à la cristallisation des roches volcaniques. Pour lui, l'eau est intervenue dans les phénomènes de la même façon dont elle agit dans les reproductions artificielles par voie humide, sous

1. Delesse, *Bull. soc. géol.*, t. XV, 1857-58, p. 728, 757, 769.

pression, quand elle transforme les matières vitreuses et y fait naître des cristaux.

C'est aussi à cette sorte d'eau mère que M. Daubrée[1] attribue la formation des minéraux d'une roche, dans une succession qui paraît souvent opposée à leur ordre de fusibilité. Enfin, considérant le basalte, le phonolithe, comme renfermant à la fois des silicates anhydres et des silicates hydratés, il trouve dans la genèse de ces roches, par voie semi-aqueuse, l'explication de cette remarquable association. Il compare l'état de mollesse ou même de fluidité de certaines roches éruptives, au moment de leur formation, à celles des verres ramollis par l'eau chauffée sous pression, et explique, par cette assimilation, la faible chaleur primitive de certains magmas éruptifs.

Les opinions des deux savants pétrographes français, que nous venons de citer, ont trouvé en même temps de puissants échos à l'étranger, et pendant trente ans, les doctrines dont nous résumons ici l'expression ont pleinement régné dans la science.

Tout récemment encore, le chef de l'école pétrographique anglaise, **M. Sorby**[2], a cherché à appuyer ces spéculations théoriques par des expériences sur les perles vitreuses qu'on produit en fondant au chalumeau des oxydes métalliques avec le borax. Il est très rare d'obtenir, dans ces conditions, des cristaux bien développés et de forme simple; le résultat caractéristique et constant se manifeste par la production de squelettes cristallitiques, rappelant les arborisations étudiées par Vogelsang dans le verre commun.

M. Sorby rapproche ce résultat de celui auquel amène

1. Daubrée, *Rapport sur les progrès de la géologie expérimentale*, 1867, p. 63 et et 84.

2. Sorby, *British Association*, 1880. — *Geological Magazine*, 1880, p. 468.

l'étude des laitiers de l'industrie et des produits de fusion des roches naturelles; sa conclusion, conforme à celle de MM. Delesse et Daubrée, est que la voie ignée pure est insuffisante pour amener la production de roches identiques aux roches naturelles. Ni l'influence de la masse, ni celle d'un refroidissement suffisamment lent ne peuvent être invoquées, d'après M. Sorby, pour expliquer ces différences de structure : en effet, l'action exercée par un refroidissement rapide, tel qu'il se produit le long des salbandes des filons de roches éruptives naturelles, se borne à une diminution de grain et n'amène pas la production de formes cristallitiques.

En résumé, M. Sorby croit devoir chercher la cause de la cristallisation plus parfaite des roches éruptives naturelles dans l'action de la vapeur d'eau qui accompagne, avec une constance remarquable, toutes les manifestations volcaniques.

Nos propres expériences nous paraissent avoir tranché, dans un sens bien différent, le problème que M. Sorby a cherché à éclairer. Nous insisterons plus loin sur le fait que les formes cristallitiques se produisent surtout lorsqu'un refroidissement brusque succède à une élaboration insuffisante du magma fondu : lorsque ce magma a été maintenu pendant un temps convenable, à une température légèrement inférieure à celle de la fusion du produit cherché, on peut soumettre le culot en expérience à un refroidissement rapide, et cependant le voir se charger de microlithes et de petits cristaux parfaitement identiques à ceux des roches volcaniques naturelles; et s'il y a lieu de s'étonner d'un pareil fait, c'est surtout en considérant la brièveté relative du laps de temps nécessaire pour arriver à un résultat satisfaisant. On peut donc affirmer que la vapeur d'eau n'intervient nullement dans la production des minéraux de seconde consolidation d'un grand nombre de roches. Remarquons en outre que la

nature n'exclut pas, dans tous les cas, la production de formes cristallitiques : elle leur donne naissance quand un magma fondu, soumis à une élaboration insuffisante, est ensuite brusquement refroidi; tel est le cas des veinules de tachylite et de pechstein, et d'un grand nombre d'obsidiennes. L'état finement cristallin d'un grand nombre de roches, le long de leurs salbandes, tient à des causes complexes, et souvent à une sorte de préparation mécanique subie par leurs éléments de première consolidation; mais en tout état de cause, le refroidissement brusque succède souvent alors à une élaboration préalable, qui suffit pour exclure la production de formes cristallitiques.

En 1878, nous avons entrepris[1] une série d'expériences dont le résultat est d'augmenter considérablement le domaine de la fusion purement ignée. Les conclusions à tirer de nos recherches peuvent en effet se résumer comme il suit : un grand nombre de roches éruptives anciennes et modernes doivent leur origine à l'action exclusive d'une fusion suivie d'un lent refroidissement; les fumerolles et les agents volatils ne produisent que la décomposition ultérieure des minéraux primitifs de ces roches; leur action est purement secondaire.

Les savants les plus autorisés ont constaté l'identité de nos produits artificiels avec certains types de roches éruptives naturelles.

« Nous devons faire remarquer, dit M. Zirkel[1], que le « microscope n'a pas été moins utile à la géologie expé- « rimentale qu'aux recherches d'observation pure; car « il a montré l'accord fidèle qui existe, sous le rapport « de la composition minéralogique et de la structure,

1. Fouqué et Michel Lévy, voir *C. R.* et *Bull. Soc. min.*

2. Discours de M. Zirkel, doyen de l'université de Leipzig, prononcé dans la séance de proclamation des docteurs de cette université. 1881. — Leipzig, librairie Edelmann.

« entre les produits artificiels des laboratoires et les com-
« posés naturels, et a ainsi permis de croire que la re-
« production de ces derniers était effectivement obtenue.
« De longues périodes avaient été infructueuses à ce point
« de vue; mais récemment les résultats étonnants et à
« jamais mémorables, fournis par la voie ignée, sont
« venus ajouter un nouvel éclat à l'ancienne gloire des
« expérimentateurs français. . . . . .

« On a eu le bonheur enviable de reproduire ainsi un
« grand nombre de minéraux et précisément ceux qui
« sont les plus importants dans les roches, divers feld-
« spaths, l'augite, la leucite, la néphéline, le grenat,
« avec tous les détails de leurs structures microsco-
« piques et leurs macles caractéristiques. On a même
« réussi, dans des conditions telles que la nature les a
« certainement réalisées, à produire des magmas artifi-
« ciels identiques à des types de roches éruptives; andé-
« sites augitiques, leucotéphrites, basaltes complets;
« tous ces produits possèdent les mêmes éléments mi-
« croscopiques et la même structure que les roches
« engendrées par la nature, au fond de ses immenses
« laboratoires souterrains[1] ».

1. Page 59. « Es darf nicht versäumt werden, zu betonen, dass das Mikroskop auch der experimentirenden Geologie mit nicht geringem Nutzen zur Seite gestanden hat, indem es die getreue materielle und structurelle Uebereinstimmung der künstlich im Laboratorium erhaltenen Producte mit den natürlichen Gebilden nachwies und so deren Nachahmung als in der That gelungen glaubhaft machte. Gerade die letzten Jahre haben auf diesem Gebiete, welches decennien lang, als unfruchtbar und öde geltend, fast gemieden wurde, die staunenswerthen und für immer denkwürdigen Resultate von Fouqué und Michel Lévy zu verzeichnen, welche dem alten Ruhm der experimentirenden französischen Forscher neuen Glanz hinzufugten. . . . . .
Sie hatten das beneidenswerthe Glück so eine Menge der gerade für die Felsarten wichtigsten Mineralien zu erzeugen, verschiedene Feldspathe, Augit, Leucit, Nephelin, Granat mit allen details der mikroskopischen Structur und der etwaigen charakteristischen Zwillingsbildungen. Ja es ist ihnen darauf auch gelungen, unter Bedingungen, deren Vorandensein in der Natur keineswegs bestritten werden kann, sogar ganze typische Gesteins

M. Rosensbuch[1] n'est pas moins explicite dans ses appréciations, qui empruntent une valeur toute particulière à la haute compétence de ce savant et à l'examen attentif qu'il a fait de nos produits.

Nous avons été conduits à nos expériences par l'observation microscopique des roches éruptives, observation montrant la cristallinité des parties les plus compactes et attestant la formation d'un grand nombre d'éléments cristallins pendant et après l'épanchement. Ce fait avait surtout à nos yeux une importance capitale pour les roches volcaniques actuelles que l'on voit couler sous la pression ordinaire, à des températures qui ne dépassent pas celles que l'on obtient aisément dans les laboratoires.

Nous donnerons d'abord quelques détails sur le mode opératoire dont nous nous sommes servis. Le fourneau Leclerc et Forquignon, chauffé par un chalumeau à gaz et soufflé par une trompe Damoiseau, est d'un emploi commode ; il permet de réaliser les conditions indispensables au succès de l'expérience, c'est-à-dire, d'obtenir de hautes températures, et surtout de maintenir à peu près fixe, aussi longtemps que l'on veut, celle dont on a fait choix.

Nous nous servons de creusets de platine d'environ vingt centimètres cubes de capacité. On peut les disposer de quatre façons différentes dans le fourneau.

1° Le creuset est enfoncé entièrement dans le manchon intérieur de terre réfractaire, de façon que son bord supérieur affleure à la surface du manchon. On recouvre le tout de la calotte extérieure en terre réfractaire, puis on lance le vent dans le chalumeau, en employant la tuyère

massen als Erstarrungsproducte künstlicher Schmelzmagmen zu erhalten, Augitandesit, Leucittephrit, leibhaftigen Basalt, dieselben mikroskopischen Gemengtheile und dasselbe Gefüge aufweisend, wie jene Felsarten die aus der unermesslichen unterirdischen Werkstätte herstammen. »

1. *Neues Jahrb.*, 1879, p. 408.

d'orifice maximum. Dans de pareilles conditions, on atteint en quelques minutes la température de fusion du platine, et il faut quelques précautions pour empêcher le creuset de se perforer; le plus souvent on fond en partie le petit support en fil de platine circulaire qui soutient le creuset. Une pareille température est suffisante pour transformer le péridot, la leucite, l'anorthite en une masse visqueuse, qui, après un refroidissement brusque, se montre entièrement amorphe.

2° Le creuset occupe la même position ; mais la calotte du fourneau est enlevée et le soufflage se fait avec la tuyère à orifice moyen. Dans ces conditions, le fer et l'acier fondent aisément; il en est de même de tous les feldspaths, sauf l'anorthite, et de tous les bisilicates.

3° Le creuset est appuyé sur un triangle de platine reposant sur le bord supérieur du manchon, de manière à être à moitié enfoncé dans le fourneau. On conserve la tuyère précédente. L'acier se ramollit seulement, mais le cuivre fond très facilement; on est à la limite de fusion du labrador et de l'oligoclase; le pyroxène peut être encore complètement liquéfié ainsi que la néphéline.

4° Le creuset est appuyé sur le triangle de platine de manière à être entièrement en dehors du fourneau. Même tuyère que précédemment. Le cuivre fond encore dans ces conditions, mais difficilement.

Dans les trois premières positions, le creuset est porté au rouge blanc; dans la dernière, il n'est plus qu'au rouge vif. Il va sans dire qu'en réglant l'arrivée du vent et du gaz, on a une certaine latitude pour faire varier dans chaque cas la température définitive.

Les matières premières, que nous avons employées, sont les éléments chimiques ou les minéraux naturels qui entrent dans l'association que nous nous proposons d'obtenir. Les éléments chimiques que nous avons utilisés sont : la silice et l'alumine obtenues par voie de préci-

pitation et calcinées ; les carbonates de potasse, de soude et de chaux ; la magnésie caustique, le sesquioxyde de fer. Les minéraux naturels qui ont été employés, sont le mica [illegible] de l'Ain, l'oligoclase d'Alagnon (Cantal), le la[illegible] du Canada, l'augite des Açores, la leucite de la Somma, le péridot d'Auvergne, le quartz de Madagascar.

Dans chaque série d'expériences, nous nous sommes toujours astreints à employer au moins une fois, les mélanges chimiques. Leur emploi comporte quelques précautions ; il convient de les employer secs et de les mélanger avec soin dans un mortier de porcelaine. Ces mélanges sont toujours très volumineux et la masse nécessaire pour former un culot d'environ 15 grammes, dépasse de beaucoup les dimensions du creuset ; il est donc nécessaire d'opérer la fusion par parties fractionnées. La décomposition du carbonate de chaux n'entraîne aucun boursouflement ; il n'en est pas de même du carbonate de soude et surtout du carbonate de potasse. Il convient alors de chauffer doucement pendant une dizaine de minutes, puis ensuite d'opérer brusquement la fusion à très haute température.

Que l'on parte des éléments chimiques ou des minéraux naturels, en opérant avec le dispositif n° 1, on obtient, par refroidissement brusque, un verre isotrope, souvent bulleux, dont la couleur est variable suivant la nature du mélange fondu. L'aspect de ce verre est le même, à composition chimique égale, quels que soient les éléments employés.

Dans les mélanges qui contiennent les éléments du pyroxène, de l'enstatite ou de la mélilite, il faut recourir à un refroidissement très brusque pour empêcher ces minéraux de cristalliser partiellement. La néphéline cristallise aussi très aisément. Les feldspaths, au contraire, offrent une très grande tendance à passer lentement de l'état visqueux à l'état cristallin.

La méthode que nous avons employée pour obtenir des associations cristallines identiques à celles de la nature, repose sur le principe, déjà entrevu par James Hall, que la température de fusion d'un silicate cristallisé est en général supérieure à celle du verre qui en provient. Si donc on maintient, pendant un temps suffisamment long, un pareil verre à une température légèrement supérieure à celle de son ramollissement, on se trouve dans des conditions favorables pour produire des arrangements moléculaires et donner naissance à des corps cristallisés qui puissent se solidifier au sein du magma visqueux.

On voit que les limites de température, nécessaires à la production d'un minéral déterminé, sont très rapprochées; car elles doivent osciller entre la température de fusion du minéral et celle du verre qui en résulte; et ces deux températures sont souvent très voisines l'une de l'autre.

Ces considérations expliquent la nécessité des températures variées que nous avons dû employer pour arriver à faire cristalliser dans un même magma des minéraux divers. De là aussi la distinction des stades de consolidation, que nous avons mis en pratique, et dont l'observation des roches naturelles nous avait d'ailleurs suggéré l'emploi. L'étude microscopique des plaques minces des roches ignées n'indique en général que deux temps principaux de consolidation, et en effet, avec l'emploi de deux stades distincts à des températures inégales, nous sommes parvenus à reproduire ces roches jusque dans leurs détails les plus intimes. Les exemples les plus frappants sont les suivants: dans le *basalte*, le péridot est toujours en cristaux de première consolidation, autour desquels se groupent les autres éléments microlithiques de la roche. La leucite des *leucotéphrites* et des *leucitites* a aussi cristallisé antérieurement aux minéraux qui l'accompagnent. Dans les roches à structure *ophitique*, l'élément feldspathique est moulé par les grandes plages de py-

roxène. L'explication de ces faits ne présente aucune difficulté, car le péridot, la leucite et le felsdpath se solidifient à des températures plus élevées que les éléments dont ils sont environnés. Il a donc suffi que le magma, qui contient ces minéraux, passât par des températures graduellement décroissantes, pour provoquer les deux temps principaux de cristallisation de la roche. C'est aussi une des raisons pour lesquelles, dans les roches où le feldspath apparaît à la fois dans les deux temps de consolidation, les grands cristaux sont souvent d'anorthite pour les microlithes de labrador, de labrador pour les microlithes d'oligoclase ; car tel est l'ordre des fusibilités.

Ainsi, en résumé, le principe qui nous paraît avoir présidé à la formation des roches ignées, consiste dans ce fait que les minéraux se sont consolidés suivant l'ordre inverse de leurs fusibilités respectives. L'observation et l'expérience révèlent quelques contradictions apparentes à cette règle générale ; nous allons les discuter sommairement.

Certains minéraux de fusion très difficile, tels que la leucite, renferment en inclusions des minéraux très fusibles, tels que le pyroxène. Il semblerait donc que la cristallisation du pyroxène fût antérieure à celle de la leucite. Mais, en réalité, le pyroxène provient ici d'inclusions vitreuses, contenues primitivement dans la leucite, et qui après leur emprisonnement ont continué à subir un travail de groupement moléculaire. Ce fait est mis en évidence par les observations de l'une de nos séries d'expériences.

Une autre objection résulte de la formation du fer oxydulé et de la picotite, cristallisés aux temps divers de consolidation et à des températures très variées. Ainsi le péridot du basalte, formé dans le premier temps de consolidation, renferme ces minéraux, et on les retrouve

encore accompagnant les microlithes du second temps, et parfois même implantés sur eux. Le même fait se reproduit dans nos expériences, et chaque poussée de silicates, cristallisés au sein de verres ferrugineux, est accompagnée de la production de fer oxydulé et parfois de picotite. L'explication, pour nous, est dans une réaction des bases qui se déplacent mutuellement. C'est une opinion déjà professée par Ebelmen[1]. La fusibilité n'est donc pas pour ces minéraux la condition déterminante de leur moment de cristallisation.

La plus grave des objections est celle qui a pour point de départ l'observation de roches, dans lesquelles les mêmes silicates se trouvent à la fois dans les deux temps de consolidation. C'est surtout au pyroxène et au labrador que s'applique le cas en question. On peut douter alors que le phénomène soit dû à des variations dans la température. Et cependant entre la température de fusion d'un minéral et celle de son verre, il peut y avoir une latitude assez grande pour que la cristallisation commence pendant un stade et se termine dans l'autre. Notons que le premier stade, pour les roches ignées, paraît s'être produit avant l'éruption, c'est-à-dire dans des conditions de refroidissement très lent et de repos relatif, tandis que le second stade coïncide à peu près avec l'épanchement de la roche, c'est-à-dire avec une période troublée et de refroidissement beaucoup plus rapide. Il n'est donc pas étonnant d'observer une première poussée de cristaux de grande taille, puis une seconde formation microlithique. Ajoutons que, par suite du changement incessant de composition du magma dans lequel la cristallisation s'opère, les minéraux formés, et notamment le pyroxène, présentent de légères variations de composition et par conséquent des variations correspondantes dans leur fusibilité.

1. Ebelmen, *C. R.*, t. XXXIII, p. 527, 1851.

1° Pratiquement, nous obtenons la cristallisation de la leucite, de l'anorthite, du péridot, du fer oxydulé et de la picotite à la température du mode opératoire n° 2.

2° Le labrador, l'oligoclase, le pyroxène, l'enstatite et l'hypersthène s'obtiennent en même temps que de la picotite et du fer oxydulé par l'emploi du mode opératoire n° 3.

3° Les mêmes minéraux et surtout le pyroxène, la néphéline, la mélilite et le grenat mélanite, se produisent encore à la température du rouge vif (mode opératoire n° 4).

Les culots que l'on obtient par la méthode que nous venons d'exposer, n'ont plus une apparence vitreuse ; ils ont perdu leur transparence et sont devenus rugueux ; ils adhèrent fortement aux parois des creusets et présentent une dureté, une ténacité et une densité très supérieures à celles des verres correspondants : on peut déjà distinguer à l'œil nu, notamment à la surface des cavités, quelques cristaux d'enstatite, de pyroxène, de péridot, de mélilite dans ceux des culots qui contiennent ces minéraux. La leucite forme aussi, à la surface du produit, des petits boutons en saillie de teinte plus claire. Les culots à néphéline ont un reflet soyeux ; ceux qui sont riches en feldspath, ont un aspect blanc pierreux, plutôt grenu que cristallin.

Pour procéder à leur étude et à la détermination des minéraux formés, il est nécessaire de recourir à la taille des lames minces et à leur examen au microscope.

Nous allons rappeler sommairement les moyens d'investigation et de détermination que possède la pétrographie; ce sont les mêmes que nous avons dû employer ici. La détermination des éléments minéralogiques de nos culots cristallins artificiels se fait identiquement de la même façon que celle des minéraux des roches naturelles; nous ajouterons que, pour un grand nombre de

roches éruptives, notamment pour les basaltes, les phonolithes, les trachytes, l'analyse microscopique, avec ses procédés optiques et chimiques, est la seule praticable. Cette science nouvelle offre des méthodes dont la précision et la rigueur sont comparables à celles des méthodes employées depuis longtemps en physique et en chimie.

1° Les observations à la *lumière naturelle* permettent d'apprécier la couleur en lame mince, la rugosité, le relief dû à la valeur élevée de l'indice de réfraction, la forme, les clivages.

2° Avec interposition d'*un nicol en lumière parallèle*, on constate le polychroïsme.

3° L'emploi de *deux nicols croisés en lumière parallèle* donne les couleurs de polarisation qui sont plus ou moins vives, suivant le plus ou moins grand écart des indices de réfraction ordinaire et extraordinaire; ce caractère tire son importance de la constance relative d'épaisseur des plaques minces, qui oscillent entre $0^{mm},01$ et $0^{mm},03$.

Mais l'indication la plus caractéristique est fournie par la mesure des angles d'extinction; ces angles sont rapportés avec avantage à la direction d'allongement du minéral. Cet allongement est souvent considérable, notamment dans les microlithes; il coïncide avec une des arêtes principales de la substance et presque toujours avec l'intersection des deux clivages prédominants : ainsi c'est l'arête pg^1 pour les feldspaths, mm pour le pyroxène et l'amphibole, h^1g^1 pour l'enstatite, ph^1 pour l'épidote, etc. Il est facile de reconnaître dans la plaque mince les sections appartenant à la zone dont cette arête est l'axe; car, dès que l'on a affaire à des sections tant soit peu obliques, celles-ci occupent une si petite surface que l'œil les élimine presque involontairement. Dans cette zone importante, les extinctions rapportées à la longueur varient de 0° à un certain maximum caractéristique. Quelques lectures suffisent pour le déterminer pratiquement.

La lumière parallèle polarisée permet encore une étude détaillée des macles.

Enfin son emploi, combiné avec celui d'une lame mince de quartz parallèle, donne la grandeur relative des deux axes d'élasticité d'une section. Ce dernier procédé révèle en outre le pouvoir polarisant des substances très faiblement biréfringentes, telles que la leucite, et manifeste leurs macles.

4° La *lumière polarisée convergente* est applicable aux minéraux contenus dans les lames minces, dans un grand nombre de cas où leurs dimensions ne sont pas trop exiguës. Elle indique immédiatement si l'on a affaire à un minéral à un ou à deux axes optiques; elle détermine en outre la position de ces axes et celle de leur plan.

5° Les *procédés de séparation* des minéraux élémentaires, usités pour l'étude des roches, sont applicables ici. Ainsi on peut employer les attaques convenablement ménagées par l'acide fluorhydrique et par l'acide hydrofluosilicique, le traitement des poudres par l'électroaimant, et par les liqueurs à grandes densités de biiodure de mercure et de potassium[1], de boro-tungstate de cadmium[2], ou de chlorures de plomb et de zinc fondus[3].

Les plaques minces, découvertes et débarrassées, par un lavage à la benzine, du baume qui les enduit, se prêtent à des essais d'attaque par l'acide chlorhydrique. Un certain nombre de minéraux perdent alors leur action sur la lumière polarisée, et, quand ils fournissent de la silice gélatineuse, on peut le constater en les imprégnant de teinture d'aniline.

Mentionnons enfin le procédé Boricky, basé sur la production et la forme cristalline des fluosilicates, le procédé Behrens permettant une analyse qualitative complète,

1. Thoulet, *C. R.*, 1878.
2. Klein, *Bull. Soc. min.*, p. 143, 1881.
3. Bréon, *Soc. min.*, p. 45, 1880.

basée sur la forme cristalline des précipités fournis par divers réactifs[1], et le procédé Szabo qui utilise les colorations de flamme au bec Bunsen.

Nous avons exposé, dans notre minéralogie micrographique[2], l'application de ces procédés divers à la détermination des minéraux des roches éruptives, et nous y renvoyons pour plus amples détails. Nous nous contenterons ici de résumer brièvement les caractères principaux qui appartiennent aussi bien aux minéraux de nos roches artificielles qu'à ceux des roches naturelles similaires.

Feldspaths tricliniques. — Incolores, lisses, sans relief. Couleurs de polarisation faibles, gris bleuâtre, plus vives pour l'anorthite que pour les autres feldspaths. L'allongement a lieu suivant l'arête pg^1 et se montre généralement très marqué. Dans cette zone, les maxima d'extinction sont :

Pour l'oligoclase.	0°
Pour le labrador.	30°
Pour l'anorthite.	45°

D'après la théorie de M. Tschermak entre l'albite et l'anorthite il existerait une série continue de feldspaths

1. Pour l'essai des silicates, M. Behrens emploie successivement l'acide fluorhydrique et l'acide sulfurique, de manière à transformer toutes les bases en sulfates solubles. Les réactifs qu'il emploie sont : pour la potasse, le chlorure de platine ; pour la soude, le sulfate de cérium ; pour la lithine, un carbonate alcalin ; pour la baryte, la strontiane, et la chaux, l'acide sulfurique lui-même ; pour la magnésie, le phosphate d'ammoniaque ; pour l'alumine, le chlorure de cœsium, etc. Les précipités cristallins que l'on examine au microscope sont : le chloro-platinate de potasse, le sulfate double de cerium et de soude, le carbonate de lithine, les sulfates de baryte, de strontiane et de chaux, le phosphate ammoniaco-magnésien, l'alun de cœsium, etc. — Librairie J. Müller. Amsterdam, 1881.

Ces délicats procédés sont susceptibles de nouvelles applications ; ainsi des traces de zircon suffisent pour donner, par fusion avec le carbonate de soude, de la zircone et des silico-zirconates à formes caractéristiques.

2. *Mémoires pour servir à l'explication de la carte géologique détaillée de la France*, 1878.

tricliniques dont les maxima d'extinction, dans la zone pg^1, devraient naturellement varier de façon à ne présenter les chiffres ci-dessus que comme cas particuliers. Nous exposerons plus loin au chapitre des feldspaths les expériences que nous avons faites pour contrôler cette théorie. Les résultats que nous avons obtenus démontrent que, par fusion ignée, le plus grand nombre des microlithes produits appartiennent certainement aux types anciennement établis. D'abord l'albite ne se produit pas, et les mélanges correspondant aux formules (1 : 3 : 11), (1 : 3 : 10), ne laissent cristalliser que des microlithes d'oligoclase, caractérisés par leur extinction à 0°. Le mélange (1 : 3 : 8) est encore caractérisé par la prédominance des extinctions à 0°, mais présente quelques microlithes s'éteignant à 30° comme le labrador. Le mélange (1 : 3 : 7) contient déjà une telle proportion de microlithes s'éteignant à 30° qu'il est difficile de le distinguer du labrador pur. De même le maximum afférent au mélange (1 : 3 : 5) passe brusquement de 30 à 45°, et témoigne ainsi de la présence de l'anorthite. Pratiquement, pour les microlithes de fusion purement ignée, il n'y a donc pas à se préoccuper d'autres types que de ceux qui correspondent à l'oligoclase, au labrador et à l'anorthite.

Les macles suivant la loi de l'albite sont les plus fréquentes et très caractéristiques.

L'emploi de la lame de quartz montre que, pour l'oligoclase et le labrador, dans toutes les sections de la zone pg^1 le plus grand axe d'élasticité est toujours voisin de la direction d'allongement. Il en résulte que, la lame de quartz étant par exemple dirigée N. E. et donnant une couleur rouge entre les nicols croisés, tous les microlithes allongés suivant la direction N. E. se colorent en jaune, et tous les microlithes N. O. en bleu. Il y a, au contraire, mélange de couleurs pour l'anorthite.

L'oligoclase est inattaquable à l'acide chlorhydrique; le labrador s'attaque très difficilement, l'anorthite se gélatinise.

Néphéline. — Incolore, dépourvue de rugosité et de relief. Formes hexagonales et rectangulaires courtes.

Les couleurs de polarisation sont très pâles; les sections hexagonales se montrent constamment éteintes; les sections rectangulaires s'éteignent parallèlement aux côtés.

La lumière convergente donne les caractères des cristaux à un axe, et son emploi combiné avec celui de la lame de quartz montre que cet axe est négatif.

La néphéline est aisément attaquable aux acides et fait gelée.

Leucite. — Incolore, sans rugosité ni relief. Cristaux à formes pseudo-cubiques, présentant les faces de l'octaèdre a^2 et du di-octaèdre a_2.

Les couleurs de polarisation sont extrêmement faibles; la lame de quartz est utile pour déceler les macles multiples. Elle paraît indiquer que la leucite artificielle est négative.

Attaquable aux acides.

Pyroxène. — Brunâtre ou jaune verdâtre; rugosité faible. Relief sensible. Clivages *mm*, bien marqués, mais souvent interrompus. Allongement suivant l'arête *mm*.

Polychroïsme insensible en plaque mince. Couleurs de polarisation assez vives dans les teintes jaunes. Maximum d'extinction à 30° dans la zone d'allongement.

La lumière convergente montre que le plan des axes optiques est parallèle à l'allongement.

Le pyroxène est sensiblement inattaquable à l'acide chlorhydrique.

Enstatite. — Jaune clair; rugosité faible, relief sensible. Formes rectangulaires; clivages très marqués parallèles à l'allongement et cassures transversales; le clivage g^1 donne aux sections allongées une apparence cannelée.

Couleurs vives de polarisation, dans les teintes jaunes; extinctions longitudinales. L'hypersthène se distingue par sa couleur brune et son polychroïsme sensible.

Plan des axes optiques parallèle à l'allongement.

L'enstatite est inattaquable aux acides.

Péridot. — Incolore, en lame mince, rugueux, doué d'un relief très sensible. Forme prismatique pg^1, surmontée d'un pointement assez aigu $g^3a^1h^1$. Deux clivages rectangulaires g^1h^1, très marqués dans les produits artificiels.

Les couleurs de polarisation sont très vives, bleues, jaunes ou rouges. Les extinctions se font fréquemment suivant l'allongement, qui est sensible parallèlement à pg^1.

Le plan des axes optiques, parallèle à h^1, est perpendiculaire à l'allongement; c'est un caractère distinctif net entre le péridot et le pyroxène ou l'enstatite.

Le péridot est facilement attaquable aux acides et fait gelée.

Mélilite. — Brun foncé; relief et rugosité médiocres. Formes rectangulaires très allongées ou quadratiques. Cannelures en long.

Polychroïsme très peu marqué.

Couleurs vives de polarisation. Extinctions longitudinales.

Un seul axe optique.

Attaque facile aux acides avec production de gelée.

Nos expériences ont eu pour but la reproduction de

roches appartenant à des types naturels bien connus et dont nous avons défini la composition minéralogique et la structure dans notre minéralogie micrographique; nous suivrons ici l'ordre qui y est adopté, en commençant par les roches à *structure trachytoïde.*

I. — *Andésites et porphyrites andésitiques*[1]. — On obtient ce produit très bien cristallisé et avec sa structure normale, dans ses éléments fondamentaux qui sont ceux de seconde consolidation, en fondant un mélange de 4 parties d'oligoclase pour 1 d'augite. Le recuit dure trois jours et se fait avec le mode opératoire n° 3, à flamme modérée.

Les microlithes d'oligoclase ont en moyenne $0^{mm},25$ de longueur, sur $0^{mm},015$ d'épaisseur; ils sont maclés suivant la loi de l'albite; leur groupement se fait en faisceaux parallèles ou parfois radiés. Cependant le plus grand nombre des plaques les montre distribués sans ordre apparent.

L'augite est en microlithes jaune pâle, d'environ $0^{mm},06$ de longueur sur $0^{mm},02$ de largeur. Ils sont distribués sans ordre au milieu des microlithes de feldspath; cependant le sens de l'allongement est le même pour les deux minéraux.

Quelques octaèdres de fer oxydulé se sont développés aux dépens du fer du pyroxène employé.

Dans une des expériences, par suite de l'introduction d'un léger excès de chaux (environ un cinquantième), il s'est produit quelques groupes de microlithes de labrador et alors il est à remarquer que l'augite s'est développé plus abondamment autour de ces microlithes qu'auprès de ceux d'oligoclase.

Nous avons encore produit une andésite augitique en fondant un mélange de 10 parties d'oligoclase et de

1. Fouqué et Michel Lévy. *C. R.*, t. LXXXVII, p. 700, 1878.

1 partie d'amphibole; l'amphibole s'est donc transformée en pyroxène.

II. — *Labradorites et porphyrites labradoriques*[1]. — Nous avons obtenu un produit normal en fondant un mélange de 3 parties de labrador et 1 partie d'augite. Recuit de trois jours avec le mode opératoire n° 3 à flamme modérée.

Les microlithes de labrador ont 0mm, 25 sur 0mm, 025; ils sont un peu plus larges que ceux d'oligoclase et les macles, suivant la loi de l'albite, y sont plus marquées et plus nombreuses.

Les microlithes d'augite, jaune brunâtre, sont plus raccourcis que dans l'andésite artificielle; leurs dimensions moyennes sont 0mm, 050 sur 0mm, 025. Ils possèdent les clivages et les cassures transversales des microlithes naturels dans les roches similaires.

Le fer oxydulé, assez abondant, est en octaèdres de 0mm, 01 de diamètre.

Les groupements sont analogues à ceux de l'andésite.

Quand on fond la roche d'Odegaarden, près Bamle, à wernérite et amphibole, on obtient après recuit une labradorite augitique bien caractérisée, qui ne diffère de la précédente que par le développement de quelques prismes bruns très allongés de mélilite.

III. — *Roche à microlithes de pyroxène et d'anorthite.* — Cette roche, rare dans la nature, s'obtient aisément par voie artificielle. Nous en reparlerons à propos de la roche à structure ophitique correspondante.

IV. — *Basaltes et mélaphyres labradoriques*[2]. — Nous avons divisé l'opération en deux temps. La matière employée est un verre noir, parfaitement homogène, constitué de manière à présenter en bloc la composition

1. Fouqué et Michel Lévy, *C. R.*, t. XCII, p. 890. 1881.
2. *Soc. géol. de France*, t. VI, p. 156, 1877.

moyenne d'un basalte riche en olivine (6 d'olivine, 2 d'augite, 6 de labrador). Dans le premier temps, qui a duré quarante-huit heures, nous avons maintenu le creuset de platine contenant le verre en question, au rouge blanc, c'est-à-dire au-dessus de la température de fusion du pyroxène et du labrador, suivant le mode opératoire n° 2 à flamme modérée. Après avoir prélevé une prise d'essai, nous avons, dans un second temps, maintenu le culot au rouge cerise pendant quarante-huit heures, suivant le mode opératoire n° 4.

La première phase de l'opération a fourni de nombreux cristaux de péridot, englobés dans un magma vitreux brunâtre. Vus en plaque mince à la lumière naturelle, ces cristaux incolores possèdent l'apparence chagrinée et les formes habituelles de l'olivine; ils sont allongés suivant l'arête pg^1 et présentent les pointements g^5, a^1 et parfois h^1. Ils ont en moyenne 0^{mm}, 5 de longueur, 0^{mm}, 2 de largeur. Les clivages h^1 et g^1 sont très marqués, comme d'ailleurs dans les échantillons les mieux cristallisés et les plus intacts des basaltes naturels. Entre les nicols croisés, en lumière parallèle, ils présentent des colorations très vives, pour l'épaisseur habituelle des plaques minces (0^{mm}, 01), et leurs sections symétriques s'éteignent parallèlement à leur longueur. En lumière convergente, ils offrent les figures des cristaux à deux axes, et le plan des axes optiques est perpendiculaire au sens de l'allongement, c'est-à-dire parallèle à h^1. Ils sont facilement attaquables aux acides.

En même temps que le péridot, il y a eu cristallisation d'octaèdres de fer oxydulé et de picotite, d'un diamètre moyen de 0^{mm}, 02.

La seconde phase de l'opération a produit de nombreux microlithes de labrador (0^{mm}, 15 sur 0^{mm}, 03), allongés suivant l'arête pg^1, maclés suivant la loi de l'albite, présentant des extinctions dont la valeur maxima atteint 30°,

et qui sont associés à des microlithes raccourcis d'augite (0^{mm}, 05 sur 0^{mm}, 025) et de fer oxydulé avec picotite (0^{mm}, 005). Il reste en outre un peu de matière amorphe.

Nous remarquerons que le péridot présente, par place, des formes naissantes qui peuvent expliquer quelques-unes des particularités des cristaux naturels, et notamment les inclusions vitreuses qu'on y observe. Il se montre parfois en cristaux réduits à leur partie périphérique ou encore en agglomérations synthétiques, composées de petits cristaux offrant tous la même orientation et préparant l'individualisation d'un grand cristal unique.

Le fer oxydulé s'est produit pendant les deux phases de l'opération : ce n'est donc pas à sa température de fusibilité qu'il faut rapporter sa cristallisation, mais à un rapprochement de ses éléments chimiques, favorisé par le départ des autres silicates cristallisés. Il est ici associé à des octaèdres de picotite, transparents et d'un brun foncé.

En résumé, nous avons produit, en culot d'environ 14 grammes, un basalte artificiel, identique, à tous les points de vue, avec certains basaltes naturels, et en particulier avec celui des plateaux de l'Auvergne. Il est vrai que notre produit ne contient pas d'eau; mais les recherches microscopiques ont montré que celle des basaltes naturels était liée à l'existence d'altérations secondaires, dont le péridot est principalement l'objet. Notre expérience résout donc définitivement la question de l'origine des basaltes : ce sont des roches de formation purement ignée.

V. — *Néphélinites*[1]. — Un mélange de 3 parties de néphéline et de 1,3 d'augite nous a donné, après fusion et recuit de deux jours, suivant le mode opératoire n° 4, une association de microlithes de néphéline et d'augite.

1. Fouqué et Michel Lévy, *Comptes rend.*, t. LXXXVII, p. 961. 1878.

La néphéline, en prismes hexagonaux raccourcis (0^{mm}, 02) polarise faiblement et se montre entourée de petits cristaux assez allongés d'augite jaune verdâtre (0^{mm}, 01 sur 0^{mm}, 004). Il y a, en outre, quelques microlithes de pyroxène de plus grande taille. La consolidation de ce minéral est nettement postérieure à celle de la néphéline.

Quand on diminue la dose de pyroxène, ce minéral ne se produit plus; un mélange de 10 parties de néphéline pour 1 d'augite nous a donné une association de beaux cristaux de néphéline, de petits octaèdres de spinelles et de dodécaèdres brunâtres isotropes de grenat mélanite.

VI. — *Leucitites*[1]. — Le mélange employé se compose de 9 parties de leucite et de 1 d'augite. Après fusion, il a été recuit trois jours avec le dispositif n° 2. Il s'est produit un culot formé de cristaux de leucite, entourés d'une couronne de cristaux d'augite et de fer oxydulé. Le plus souvent l'augite est en microlithes allongés tangentiellement; quelques-uns cependant sont implantés radialement.

Les facettes de la leucite sont nettement indiquées; cependant les angles sont arrondis comme dans les cristaux naturels. L'emploi de la lame de quartz y décèle les macles habituelles. Les cristaux de leucite ont en moyenne 0^{mm}, 06 de diamètre. Ceux de pyroxène ont une longueur de 0^{mm},025 sur 0^{mm}, 003; ils sont très allongés et verdâtres comme ceux des leucitites naturelles, et se distinguent ainsi des microlithes d'augite basaltiques, brunâtres et raccourcis. Le fer oxydulé est très petit (0^{mm}, 005).

Dans cette expérience, nous n'avons pas recouru au double recuit, indispensable pour obtenir une belle cristallisation de deux minéraux dont la fusibilité est aussi différente que celle de la leucite et du pyroxène. L'aspect

1. Id., *Bull. Soc. min.*, p. 109, 1879.

du produit montre que l'augite a cristallisé brusquement; en quelques points de la préparation, il fait complètement défaut et se trouve remplacé par un verre de même couleur que lui. La leucite contient, près de sa périphérie, des inclusions de ce verre.

VII. — *Leucotéphrite*[1]. — Pour obtenir, dans une même association, la leucite et les feldspaths, il faut recourir au double recuit.

On fond, en un verre homogène, les éléments chimiques du mélange; puis on scinde, en deux temps, l'opération qui doit amener la formation des cristaux. On maintient d'abord, pendant quarante-huit heures, le culot au rouge blanc (dispositif n° 2); les éléments de la leucite s'isolent et passent à l'état cristallin. Puis, dans un second temps, la matière est maintenue pendant quarante-huit heures au rouge cerise (dispositif n° 4), à une température légèrement inférieure à celle de la fusion du feldspath cherché. Tout le culot se prend alors en une masse cristalline.

Nous avons traité ainsi un mélange de silice, d'alumine, de potasse, de soude, de magnésie, de chaux et d'oxyde de fer, représentant 1 partie d'augite, 4 de labrador et 8 de leucite. Les culots obtenus, réduits en lames minces, nous ont montré au microscope l'augite, le labrador et la leucite, sensiblement dans les proportions attendues; il s'est produit en outre des petits octaèdres réguliers de fer oxydulé et de picotite, dont la consolidation est en partie antérieure même à celle de la leucite, comme dans les roches naturelles.

L'augite est en petits microlithes verts, allongés suivant h^1g^1; le labrador en grands microlithes maclés suivant la loi de l'albite et allongés parallèlement à pg^1. La leucite se présente en grands et petits trapézoèdres

1. Fouqué et Michel Lévy, *Comptes rend.*, t. XC, p. 698, 1880.

a^2, a_2, b^1; quelques échantillons permettent une mesure très approximative des angles.

Tous ces minéraux possèdent les propriétés optiques qui caractérisent leurs similaires naturels; un grand nombre de cristaux de leucite présentent notamment les macles alternantes, suivant les faces de l'octaèdre b^1; l'interposition d'une lame de quartz rend ces macles très apparentes.

Quand on arrête l'opération au bout du premier temps, c'est-à-dire après vingt-quatre heures de chauffe au rouge blanc, on retire un culot à fond vitreux, hérissé de petites sphérules blanchâtres de leucite; pendant le refroidissement, au milieu des parties d'apparence vitreuse, on voit brusquement de nouvelles sphérules se développer, comme si les éléments constitutifs de la leucite, déjà groupés entre eux, n'attendaient qu'une température favorable pour manifester leur individualité cristalline. Il est à remarquer que ce phénomène ne se produit qu'après maintien, pendant vingt-quatre heures au moins, du mélange à haute température.

Les culots, obtenus après vingt-quatre heures de chauffe, ne contiennent aucune trace de labrador cristallisé; les éléments de ce minéral sont restés à l'état vitreux. Mais le verre contient déjà, en même temps que la leucite, de petits octaèdres de spinelle; de plus, il s'y développe, en quelques secondes, au moment de la consolidation définitive, d'innombrables petits microlithes d'augite qui viennent hérisser particulièrement la surface de la leucite et qui se développent aussi au sein des inclusions vitreuses, disposées souvent en couronnes dans l'intérieur des cristaux de leucite. C'est vraisemblablement là l'explication de l'englobement d'un minéral aussi fusible que l'augite dans un minéral aussi réfractaire que la leucite.

Il se produit en outre des cristallites de leucite dont

nous parlerons plus loin, dans le chapitre réservé à l'examen de ce minéral.

Dans le culot définitif, après son double recuit, les cristaux de leucite ont en moyenne 0^{mm}, 35, ceux de fer oxydulé du premier temps 0^{mm}, 01; les microlithes de labrador ont 0^{mm}, 05 sur 0^{mm}, 02; ceux d'augite, 0^{mm}, 025 sur 0^{mm}, 005; enfin ceux de fer oxydulé du second temps, 0^{mm}, 003.

VIII. — *Lherzolithe.* — Le procédé que nous avons utilisé pour arriver à la reproduction de cette roche, n'est autre que celui qui a été employé avant nous par M. Daubrée. La cristallisation des éléments de la lherzolithe, péridot, enstatite, pyroxène, picotite, s'obtient aisément. Si l'on prolonge suffisamment le recuit et qu'on évite un refroidissement trop brusque, l'enstatite s'y montre en prismes raccourcis et non en longues aiguilles.

Mais il reste toujours une différence essentielle entre le produit et la lherzolithe naturelle; la picotite au lieu d'y être en grandes plages de formes irrégulières, s'y montre partout disséminée en petits octaèdres, à la façon des microlithes de fer oxydulé. De plus, les inclusions vitreuses sont beaucoup plus abondantes et de plus grande taille dans les minéraux intégrants du produit artificiel que dans ceux de la roche naturelle.

IX. — *Météorites dépourvues de feldspath.* — En tenant compte des réserves faites page 41, nous avons reproduit deux types de ces météorites; le premier, celui de la météorite de Rittersgrün, l'autre, celui de la météorite de Kragujewatz. La composition minéralogique de ces deux météorites est la même; l'une et l'autre contiennent du péridot, de l'enstatite, du pyroxène magnésien et du fer natif.

La différence entre les deux échantillons provient de l'abondance relative du pyroxène magnésien, dans le premier type, et de sa rareté dans le second.

Le péridot et l'enstatite n'offrent aucun caractère particulier, qui mérite ici une mention spéciale. Il n'en est pas de même du pyroxène magnésien qui diffère considérablement des types habituellement décrits. Ce corps a été obtenu pour la première fois par Ebelmen[1] au moyen d'une fusion dans l'acide borique ; il en a déterminé certains angles et vérifié la composition par l'analyse chimique. D'après sa description, c'est un diopside purement magnésien ; mais ce minéral pourrait être également considéré comme un corps rhombique, tel que l'enstatite, si ses propriétés optiques et ses macles n'en faisaient nettement un minéral monoclinique.

Nous sommes arrivés à cette conclusion par l'étude microscopique des échantillons d'Ebelmen, et nous ajouterons ici que le corps récemment obtenu par M. Stanislas Meunier[2], et décrit par lui sous le nom d'enstatite, se rapporte par toutes ses propriétés au même pyroxène.

Le caractère essentiel de ce pyroxène magnésien est de présenter de nombreuses macles suivant la face d'association h^1. Quand les cristaux sont couchés sur la face g^1, les extinctions des lamelles hémitropes se font symétriquement de part et d'autre de la ligne de macle, sous un angle de 28 degrés environ. La multiplicité de ces lamelles est telle qu'entre les nicols croisés elle peut être comparée à celle des feldspaths tricliniques. Quand le plan des axes optiques est visible, il est parallèle aux traces des clivages faciles et des macles.

L'enstatite s'éteint, au contraire, suivant sa longueur et ne présente pas de macles apparentes.

Nous avons reproduit le type de Kragujewatz en fondant un mélange de 12 grammes de silice, 3 grammes

1. *Ann. de ph. et de ch.*, t. XXXIII, p. 34 et suiv., 1851.
2. *Action du chlorure de silicium sur le magnésium, en présence de la vapeur d'eau*, *C. R.*, t. XC. p. 349, 1880.

de magnésie et $5^{gr},55$ de sesquioxyde de fer. La simple fusion à haute température, suivie d'un refroidissement brusque, suffit pour donner au culot une texture cristalline, visible à l'œil nu et présentant les longues aiguilles d'enstatite déjà signalées par M. Daubrée. Mais les plaques, taillées dans un pareil culot, montrent que les cristaux y sont encore à l'état d'arborisations. Pour obtenir des cristaux mieux développés, il convient de procéder à un recuit prolongé, avec le dispositif n° 3, pendant deux ou trois jours. On obtient alors des culots dont la ressemblance avec les météorites est frappante.

Leurs plaques minces montrent une mosaïque irrégulière de cristaux d'enstatite ($0^{mm},300$ sur $0^{mm},105$) et de péridot ($0^{mm},120$). Il y a en outre quelques plages assez petites de pyroxène magnésien, paraissant mouler les autres éléments.

Les cristaux d'enstatite et de péridot sont arrondis et enchevêtrés à la façon des éléments des roches granitoïdes.

Le fer oxydulé est en amas granuleux moulés sur les autres éléments de la roche, ou en grains inclus. Il est visible qu'il a continué à se produire durant tout le temps de l'opération.

De même que les météorites, notre produit présente, sous le rapport de la grosseur du grain, une hétérogénéité remarquable; au milieu de plages à grands cristaux, se voient d'autres plages composées d'une fine mosaïque de cristaux dont les dimensions n'exèdent pas $0^{mm},02$; l'enstatite y domine.

Enfin on y voit certaines cavités grossièrement sphériques, parfois en partie comblées par une cristallisation, formée principalement d'enstatite en petits cristaux assez allongés, ce qui rappelle encore les petits amas globuleux de la météorite de Kragujewatz, et la victorite de M. Stanislas Meunier.

Pour identifier le produit naturel et le produit artificiel, on voit qu'il ne manque que la structure bréchiforme et la présence du fer natif à la place du fer oxydulé. Or cette dernière transformation s'effectue aisément, sans changement dans la structure du produit, si l'on fait passer, pendant quelques heures, un courant de gaz d'éclairage sur le culot chauffé au rouge sombre.

La réduction de l'oxyde de fer est attestée par le dépôt de cuivre, dont se recouvrent les plaques soumises à l'action d'une goutte de dissolution de sulfate de cuivre; elle a lieu dans toute la masse, et le fer, qui n'est nullement réuni en globules fondus, conserve la disposition en amas irréguliers qu'affectait précédemment le fer oxydulé. Cette réduction est accompagnée d'un dépôt assez abondant de charbon.

Un autre caractère commun des météorites et de nos produits est l'abondance des inclusions vitreuses dont quelques-unes avec bulles. Nous remarquerons que les mêmes inclusions se retrouvent dans tous les minéraux formés par voie de fusion et en particulier dans le produit d'Ebelmen, tandis que le pyroxène magnésien formé par l'action du chlorure de silicium sur le magnésium, en présence de la vapeur d'eau, n'en présente aucune trace.

Dans une seconde série d'expériences, nous avons employé un mélange de 6 grammes de silice, 3 grammes de magnésie et une quantité de sulfate de fer ammoniacal correspondant à $1^{gr},8$ de protoxyde de fer. Le culot produit se compose principalement de péridot et de pyroxène magnésien ; il y a en outre de l'enstatite et du fer oxydulé. C'est là une association tout à fait analogue à certaines parties de la météorite de Rittersgrün.

Le pyroxène magnésien se présente en plages de $0^{mm},30$

sur $0^{mm},10$ environ ; ses lamelles hémitropes ont une épaisseur maxima de $0^{mm},005$. Il moule habituellement les autres éléments de la roche et paraît de dernière consolidation ; dans la météorite de Rittersgrün, la différence entre les divers temps de consolidation est moins nette. Le pyroxène de nos produits artificiels est incolore comme le diopside d'Ebelmen ; il possède les mêmes macles et les mêmes angles d'extinction ; la proportion de fer qu'il renferme, ne peut être très considérable et dans tous les cas, il y a absence totale de chaux. Constamment associé à l'enstatite, il paraît la remplacer plus ou moins complètement, suivant la température qui a présidé à la cristallisation.

M. Tschermak avait déjà signalé, dans la météorite de Shergotty (Indes), un augite remarquablement pauvre en chaux.

Le péridot est en grains d'environ $0^{mm},05$. L'enstatite a en moyenne $0^{mm},200$ sur $0^{mm},125$. Le fer oxydulé, en agrégats très variables de dimension, oscille entre $0^{mm},005$ et $0^{mm},10$.

X. — *Météorites feldspathiques.* — Certaines météorites naturelles contiennent des microlithes d'anorthite ; ces roches dont le type est fourni par la météorite de Juvinas (Ardèche), ont reçu de Gustave Rose le nom d'*Eukrites*. Le feldspath, l'enstatite et le pyroxène, s'y associent de façon à présenter par place la structure ophitique, dont il sera parlé en détail dans le paragraphe suivant. Nous renvoyons à ce paragraphe, pour la description de l'association d'anorthite, de pyroxène et de fer oxydulé, qui, par sa composition et par ses traits essentiels de structure, peut être assimilée à la météorite de Juvinas.

Il nous a paru intéressant de reproduire aussi l'association de péridot et d'anorthite, dont les météorites connues sous le nom de *Howardites* présentent un type na-

turel (Le Teilleul, Manche). Nous avons fondu à cet effet un mélange de :

Silice	6,00
Alumine	2,60
Magnésie	1,50
Carbonate de chaux	2,50
Sesquioxyde de fer	4,00

Le recuit a été effectué en deux temps, comprenant quarante-huit heures, avec le dispositif n° 2 et quarante-huit heures avec le n° 3.

Les plaques minces montrent une association d'anorthite, d'enstatite, de péridot et de fer oxydulé, à structure ophitique bien caractérisée. L'anorthite est en microlithes ($0^{mm},12$ sur $0^{mm},02$) allongés suivant pg^1, et présentant de beaux exemples des trois macles de Baveno, de Carlsbad et de l'albite.

Le péridot est généralement en cristaux distincts, présentant ses formes caractéristiques ; il est incolore et moule parfois l'anorthite. Il a en moyenne $0^{mm},250$ sur $0^{mm},120$.

L'enstatite est en grandes plages ($0^{mm},40$ sur $0^{mm},15$), englobant les cristaux d'anorthite ; sa couleur jaunâtre la fait aisément distinguer du péridot à la lumière naturelle.

Le fer oxydulé est en octaèdres nets ($0^{mm},075$), parfois groupés en belles arborisations rectangulaires. En quelques points il moule les cristaux d'anorthite.

La facilité avec laquelle la fusion ignée, suivie d'un recuit convenable, amène la reproduction des principaux types des sporadosidères, montre que les météorites, composées surtout de silicates, doivent le développement de la plupart de leurs minéraux à une seule et même cause. La fusion et le refroidissement lent suffisent en effet pour reproduire les principaux détails de structure des météorites naturelles, et le fer peut y prendre nais-

sance par l'action de gaz réducteurs sur le fer oxydulé, à une température relativement assez basse.

Les expériences de M. Daubrée ont démontré que les différents alliages de fer nickelé peuvent résulter de la réduction de minéraux divers et même terrestres. Quant aux sulfures et aux phosphures que l'on rencontre quelquefois dans les météorites, ils peuvent avoir été produits par des causes analogues à celles qui développent accidentellement la pyrite dans le basalte.

XI. — *Diabases et dolérites à structure ophitique (ophites)*[1]. — Parmi les roches cristallines, les ophites constituent l'un des types les plus importants par leur abondance et l'un de ceux dont le mode de formation a été le plus controversé. On les a parfois considérées comme des roches métamorphiques et les géologues, qui regardent leur origine éruptive comme démontrée, ne les ont jamais assimilées jusqu'à présent aux roches volcaniques de fusion purement ignée. Nos expériences synthétiques tranchent la question et démontrent que les roches microlithiques et ophitiques ont une seule et même origine.

On sait[2] que ces roches sont caractérisées par le développement de microlithes de feldspath triclinique, moulés et souvent englobés par des plages étendues de pyroxène. Les microlithes d'augite des roches trachytoïdes semblent avoir eu, dans les ophites, le temps de s'agglomérer après la consolidation du feldspath, pour constituer de grands cristaux. L'apparence de ces cristaux d'augite est donc celle des grands cristaux de première consolidation des roches trachytoïdes, bien qu'ils soient seulement les analogues des microlithes du second temps de consolidation.

Il s'agissait de faire cristalliser le feldspath antérieure-

1. Fouqué et Michel Lévy, *Comptes rend.*, t. XCII, p. 890, 1881.
2. Michel Lévy, *Bull. Soc. géolog. de France*, t. VI, p. 156, 1877.

ment à l'augite et, en outre, de donner à ce dernier minéral le temps de se disposer en cristaux de grande taille. L'expérience est difficile avec le labrador et l'oligoclase, à cause des limites trop restreintes dans lesquelles on doit maintenir la température pour obtenir la cristallisation du feldspath, l'augite étant encore fluide.

Mais avec un mélange d'anorthite et d'augite, toute difficulté disparaît. Nous avons opéré, une première fois, avec 1 d'anortithe et 2 d'augite; une seconde fois, avec parties égales. Un premier recuit, qui dure quatre jours avec le dispositif n° 2, amène la cristallisation de l'anorthite ; un second recuit de quatre jours avec les dispositifs n°s 3 ou 4 donne à l'augite la structure cherchée.

Le dispositif n° 3 produit la structure ophitique dans toute la masse ; avec le dispositif n° 4 on ne l'obtient que dans les parties les plus fortement chauffées ; mais cette seconde façon d'opérer donne des produits intéressants, en ce qu'ils montrent dans une même plaque le passage de la structure microlithique à la structure ophitique.

Les microlithes d'anorthite sont en général dix fois plus longs que larges ; leur longueur moyenne est de $0^{mm},400$; ils sont maclés suivant la loi de l'albite et parfois suivant celle de Baveno. L'augite en grandes plages a un diamètre moyen de $0^{mm},750$. Ces deux minéraux contiennent des octaèdres de picotite et de fer oxydulé d'environ $0^{mm},015$.

Dans l'ophite labradorique, dont nous avons également tenté la reproduction, les microlithes de labrador sont de plus petite taille; nous n'avons pu obtenir ce produit sans mélange de la structure ophitique avec la structure trachytoïde.

Jusque dans ces derniers temps, on ne connaissait les ophites que dans des régions éloignées des centres volcaniques, telles que les Pyrénées, la Bretagne, les mines de diamants du Cap. M. Potier nous a montré récemment

des mélaphyres à structure ophitique, appartenant à la série permienne de l'Esterel. Mais l'observation la plus topique, à ce point de vue, est due à M. Bréon; dans la mission qu'il vient de remplir en Islande, il a constaté qu'il existe, dans ce pays essentiellement volcanique, des assises nombreuses et puissantes de dolérites ophitiques, alternant avec des labradorites et présentant des structures de passage d'une roche à l'autre. Il a même montré que, de nos jours, il se produit encore en Islande des coulées de roches à structure ophitique.

Il y a donc ici accord entre l'observation et la synthèse.

Inclusions vitreuses[1]. — Dans tous nos produits, nous avons trouvé des inclusions vitreuses avec et sans bulles de gaz; quelques-unes représentent en creux la forme cristalline du minéral qui les renferme. C'est un fait identique à ce qui s'observe dans les produits naturels, et d'ailleurs un des phénomènes caractéristiques des formations de voie ignée.

Expériences négatives et tentatives infructueuses. — Nous n'avons cité jusqu'à présent que celles de nos expériences qui nous ont conduits à des résultats positifs. Nous avons vainement cherché à reproduire par fusion ignée les roches à quartz, orthose, albite, mica blanc, mica noir et amphibole.

Le quartz, à haute température, perd avant de fondre son action sur la lumière polarisée. Cependant en fondant parties égales de silice et de pyroxène, d'enstatite ou d'hypersthène et recuisant quarante-huit heures avec le dispositif n° 2, puis quarante-huit heures avec le n° 3, nous avons obtenu des produits entièrement cristallisés dans lesquels une variété de silice cristalline se montre associée à l'un des trois bisilicates précités.

C'est même grâce à cet excès de silice que nous avons

1. Fouqué et Michel Lévy, *Bull. Soc. min.*, p. 110, 1879.

pu obtenir la reproduction de l'hypersthène; car, sans un excès de silice, le fer ne s'incorpore pas dans le bisilicate et cristallise isolément à l'état de fer oxydulé.

La silice constitue, dans ces divers cas, de longs microlithes incolores, ayant en moyenne $0^{mm},5$ sur $0^{mm},03$; quelques-uns ont jusqu'à un millimètre et demi de longueur. Ils présentent des cassures transversales comme la sillimanite, et leurs pointements ne sont pas déterminables. Les couleurs de polarisations sont à peu près celles des microlithes de feldspath. L'extinction se fait toujours suivant la longueur; l'emploi de la lame de quartz décèle que l'axe d'élasticité, parallèle à la longueur, est toujours plus grand que le transversal.

Une attaque prolongée à chaud par l'acide hydro-fluosilicique dissout le bisilicate et laisse intacte la majeure partie de ces microlithes siliceux. Après lavage, le résidu se montre au microscope exclusivement composé des débris de ces cristaux qui ont conservé leur action sur la lumière polarisée, mêlés à une petite quantité de silice gélatineuse. Ce résidu, traité par l'acide fluorhydrique pur, se dissout et se volatilise intégralement.

On a donc affaire ici à une variété de silice cristallisée, engendrée à haute température et que l'on peut assimiler soit à des prismes d'asmanite, soit à des lamelles de tridymite vues sur leur tranche. Nous ne pouvons pas résoudre rigoureusement cette question. Cependant les clivages transversaux, l'absence totale de lamelles hexagonales couchées à plat dans les plaques minces, enfin la forme souvent allongée des débris isolés par l'acide hydro-fluosilicique militent en faveur de la forme prismatique allongée.

L'association de ces microlithes siliceux avec les bisilicates se fait avec l'apparence caractéristique de la structure ophitique, ce qui montre nettement que la silice

libre a cristallisé la première à une température voisine de la fusion du platine.

L'*orthose*, fondu et recuit, présente entre les nicols croisés des phénomènes optiques dont nous parlerons plus loin. L'*albite*, dans les mêmes conditions, ne donne qu'un verre, contenant parfois quelques rares microlithes à teintes de polarisation pâles, allongés suivant le plus petit axe d'élasticité et s'éteignant à 7 ou 8° du sens de la longueur. Le *mica noir* donne une masse cristalline, principalement composée de cristaux orthorhombiques (à deux axes), de couleur brune, sensiblement polychroïques, palmés et finement feuilletés; à ces cristaux sont associés quelques longs microlithes incolores, à vives couleurs de polarisation, dont les extinctions atteignent 12 à 15°.

Nous avons fondu successivement le *microcline* avec le *mica blanc*, le *mica noir*, l'*oligoclase*, la *néphéline* et l'*augite*. Après recuit, nous avons obtenu les résultats suivants :

Avec le *mica blanc*, on ne produit qu'un verre isotrope.

L'*oligoclase*, la *néphéline* et l'*augite* cristallisent au sein d'un magma vitreux, en présentant chacun leurs propriétés caractéristiques, et sans aucune indication de feldspath monoclinique. Encore convient-il de remarquer qu'il faut beaucoup prolonger le recuit, et que les cristaux affectent des formes arborescentes ou cristallitiques.

Quand on fond un mélange de 4 parties de *microcline* et 4,8 de *biotite*[1], on obtient, après recuit, un culot cristallin composé de leucite, de péridot, de mélilite et de fer oxydulé, c'est-à-dire une variété de leucitite à péridot.

La *wernérite* (1 : 2 : 6, dipyre) se transforme en labrador

1. Silice, 2,00. — Alumine, 0,85. — Sexquioxyde de fer, 0,40. — Magnésie, 1,05. — Potasse, 0,50.

par fusion ignée et recuit; nous avons vu qu'une association naturelle d'*amphibole* et de *wernérite* donne une *labradorite augitique.*

De même, un mélange d'*amphibole* et d'*oligoclase* se transforme en *andésite augitique*

Ces expériences négatives prouvent que les roches naturelles à quartz, orthose, mica noir, amphibole, semblent s'être formées d'une autre façon que par la voie ignée pure.

Il nous reste à parler de quelques autres expériences dans lesquelles nous avons essayé de reproduire certains minéraux en substituant à leur base des quantités équivalentes d'autres bases similaires. Des expériences de ce genre nous ont réussi quand on maintient le type chimique du minéral; par exemple pour la série feldspathique, quand on cherche à remplacer la chaux par la baryte, la strontiane et l'oxyde de plomb. Mais nous avons vainement tenté de produire un oligoclase purement calcique, une néphéline potassique, une leucite sodique. Ou l'on retombe sur des produits naturels différents tels que l'anorthite, ou l'on n'arrive qu'à des verres imparfaits. En se bornant donc aux moyens que la nature est susceptible de mettre en œuvre, on devra reconnaître qu'il est difficile de s'écarter des types déjà connus.

Résumé. — Toute cristallisation d'une roche ignée a commencé au sein d'un magma fondu. La composition minéralogique et la structure d'une pareille roche ne peuvent donc dépendre que de sa composition chimique en bloc et des conditions dans lesquelles s'est opéré le refroidissement. Nous avons vu plus haut quelles variétés de roches peuvent résulter de ce double facteur. L'absence de chaux et d'alcali conduit à la lherzolithe, roche de structure granitoïde; un refroidissement lent est nécessaire à la production de la structure ophitique; mais c'est la structure trachytoïde, et notamment la structure

microlithique, qui est le résultat, de beaucoup le plus fréquent, de la voie ignée.

Il n'y a aucune raison pour qu'à toutes les époques géologiques, il n'y ait pas eu de roches de fusion ignée. Cependant deux époques, au moins, nous les présentent avec une abondance particulière : la période permienne et triasique et la période géologique comprise entre le milieu du tertiaire et l'époque actuelle.

A côté des roches de fusion purement ignée, il en existe qui offrent avec elles une étroite parenté et pour la reproduction desquelles nos méthodes se sont cependant montrées impuissantes. Telles sont les andésites à amphibole, les trachytes à mica noir et les phonolithes. On peut remarquer que ce sont déjà des roches acides et que le domaine de la voie ignée comprend surtout des roches basiques. Il faut encore admettre que la chaleur est intervenue comme agent principal; car les trachytes, les andésites et les phonolithes se rencontrent dans les mêmes gisements que les produits de la voie ignée et font partie des mêmes appareils volcaniques. Mais là commence, par une gradation insensible, une autre série de roches encore plus acides, qui ne se termine qu'au granite et dont le mode de formation est à peu près complètement inconnu.

Quand ce problème difficile sera résolu, alors seulement on pourra songer à établir la classification des roches sur des bases naturelles. La composition en bloc et le mode de formation étant connus, l'association minéralogique et la structure s'en déduiront nécessairement. En attendant, on est obligé de prendre exclusivement ces derniers caractères comme base de classification.

Dans les roches autres que celles de fusion ignée, les influences qui ont présidé à l'origine des produits paraissant de nature très complexe, il en résulte des différences de structure plus marquées. En outre, ces influences ont

varié avec l'âge des éruptions et peuvent, jusqu'à un certain point, lui servir de caractéristiques. Mais, pour les roches d'origine ignée, les particularités du mode de formation et les variations dans la composition en bloc sont loin de fournir des traits distinctifs concordant aussi nettement avec les différences d'âges.

III

SILICE — SILICATES — SILICO-ALUMINATES

III. (α). SILICE

QUARTZ — TRIDYMITE — OPALE.

Quartz. — **1845.** Schafhautl. — **1851.** De Sénarmont. — **1857.** Daubrée. — **1879.** Friedel et Sarasin. — **1880.** Hautefeuille. — **1881.** Hautefeuille et Margottet — **1881.** Hautefeuille.
Tridymite. — **1869.** G. Rose. — **1878.** Hautefeuille. — **1879.** Friedel et Sarasin.
Quartz à pointements aigus. — **1878.** Hautefeuille.
Opale. — **1845.** Ebelmen. — **1853.** Becquerel. — **1868.** Becquerel. — **1871.** Frémy. — **1877.** Monier.

Quartz. — La plupart des nombreuses variétés de silice à structure cristalline, qui se rencontrent dans la nature, n'ont pu jusqu'à présent être reproduites artificiellement. On n'a pu refaire ni le quartz en larges plages des granites, ni le quartz granulitique des granulites et microgranulites, ni le quartz globulaire, ni le quartz cunéiforme des pegmatites et micropegmatites, ni le quartz bipyramidé à formes raccourcies, à angles arrondis, si commun et si caractéristique dans les microgranulites, dans les porphyres et dans les roches volcaniques acides [1]. On n'a pu

1. Cependant le quartz obtenu par MM. Friedel et Sarasin, dans leur ex-

même imiter qu'imparfaitement les groupements radiés qui distinguent la calcédoine.

Les deux seules variétés naturelles dont la reproduction ait été réalisée, sont : 1° le quartz prismatique allongé, terminé par une double pyramide hexagonale, tel qu'il s'observe dans les druses et les filons, 2° la tridymite.

En revanche, à ces deux produits artificiels il faut ajouter une variété de silice cristallisée, obtenue par M. Hautefeuille, laquelle diffère essentiellement, comme nous le verrons plus loin, de toutes les variétés naturelles de quartz, bien qu'elle possède la composition chimique et les propriétés physiques de ce minéral.

La première tentative sérieuse, faite pour obtenir la cristallisation de la silice, est celle de **Schafhäutl**[1]. Ce savant chauffait durant huit jours, dans la marmite de Papin, de la silice gélatineuse récemment précipitée. Il a annoncé, qu'en opérant dans ces conditions, la silice se dissolvait, et qu'en évaporant ensuite la solution, on obtenait des prismes hexagonaux bipyramidés de quartz.

Un certain doute plane sur les conditions et les résultats de cette expérience. Au contraire, la reproduction du quartz, réalisée plus tard par **Sénarmont**, est véritablement incontestable et rigoureusement authentique, de telle sorte que la priorité du succès doit, peut-être seulement, être attribuée à cette seconde série d'essais.

Sénarmont, pour obtenir le quartz artificiel, a employé comme Schafhäutl, le chauffage de la silice gélatineuse en vase clos, en présence de l'eau en excès[2]. Il a opéré à une température bien plus élevée que ne l'avait fait Schafhäutl, et par conséquent sous une pression bien plus

périence de reproduction du quartz associé à une matière feldspathique, se rapproche de ce dernier type. Voir ci-après, page 85.

1. Schafhäutl, *Anzeigen*, 1845, p. 557.

2. Sénarmont. *Ann. phy. et ch.*, t. XXXII, p. 129. — *C. r.*, t. XXXII, 409. — *Ann. ch. phar.*, t. LXXX, p. 212. — *L'Inst.*, 1851, p. 91.

grande. L'appareil tubulaire qu'il a mis en usage, est celui qui depuis lors a été adopté par tous ceux qui ont réalisé des reproductions artificielles de minéraux, en présence de l'eau à haute température. On lui doit aussi la connaissance de ce fait capital, contraire aux assertions de Schafhäutl, que les cristaux, obtenus en présence de l'eau à haute température en vase clos, se forment indépendamment de toute évaporation.

Dans la principale expérience de Sénarmont, le traitement se faisait sur une petite quantité de silice gélatineuse délayée dans de l'acide chlorhydrique très étendu. L'appareil était un tube de verre, clos à la lampe et enfermé dans un canon de fusil hermétiquement bouché. Il était maintenu à une température d'environ 350° pendant plusieurs jours. L'opération terminée, Sénarmont recueillit 1 à 2 milligrammes d'une poudre cristalline, composée de grains inégaux de quartz et de quelques cristaux à contours nets du même minéral. Ces derniers examinés au microscope, se présentaient sous la forme de cristaux allongés bipyramidés. Les faces des prismes étaient striées transversalement, celles des pyramides inégalement développées. Ces cristaux polarisaient, et les extinctions entre les nicols croisés se faisaient parallèlement aux arêtes longitudinales des prismes.

Des résultats identiques ont été obtenus par le même savant en chauffant, également sous pression, de la silice gélatineuse délayée dans l'eau saturée d'acide carbonique.

Le même produit se forme encore dans l'attaque du verre par l'eau chauffée en vase clos, ainsi que l'a démontré **M. Daubrée**[1]. L'expérience se fait à la température de 320° et doit être prolongée durant plusieurs se-

1. Daubrée, *Ann. des mines*, 5e série, t. XII. p. 289, 1857 — *Études et expériences synthétiques sur le metamorphisme*. 1860.

maines. Dans ces conditions, le verre se transforme en une masse kaolinique feuilletée, à la surface de laquelle on aperçoit à la loupe des prismes hexagonaux pyramidés de quartz, faisant saillie. Les angles de ces cristaux ont pu être mesurés. Outre les faces ordinaires du prisme hexagonal pyramidé, on distingue, sur certains échantillons, les facettes dissymétriques connues sous le nom de plagièdres, les unes droites, les autres gauches, suivant les cristaux observés. Les faces du prisme se montrent aussi striées à la manière de celles du quartz naturel.

Parmi les produits de cette expérience, on observe encore au microscope des sphérolithes de $0^{mm},5$ de diamètre, fibreux, inattaquables à l'acide chlorhydrique et offrant le phénomène de la croix noire entre les nicols croisés. Ces globules sont vraisemblablement de nature calcédonieuse. Nous avons pu constater que les fibres, qui les composent, sont allongées suivant leur plus petit axe d'élasticité, comme les éléments de la calcédoine.

Poursuivant ses expériences, M. Daubrée a chauffé dans des tubes de verre, en vase clos, des cristaux de pyroxène et de feldspath. Ces minéraux demeurent inattaqués dans ces conditions, mais ils se recouvrent de petits cristaux de quartz provenant de l'attaque du verre.

Enfin le même savant, en chauffant en vase clos l'eau bicarbonatée potassique de Plombières, réduite au vingtième de son volume par évaporation, a obtenu des cristaux de quartz pyramidés, semblables à ceux des expériences précédentes, et des enduits d'apparence calcédonieuse analogues aux dépôts naturels observés sur les briques romaines des thermes de Plombières.

La méthode de Sénarmont, employée aussi par **MM. Friedel et Sarasin**, leur a permis d'obtenir le quartz filonien en partant d'une dissolution de silice gélatineuse

dans une liqueur légèrement alcaline[1]. Les cristaux, formés dans ce cas, sont très petits, mais d'une netteté parfaite. Ils présentent des teintes vives de polarisation et s'éteignent entre les nicols croisés parallèlement aux arêtes du prisme.

Dans une expérience, faite également en présence de l'eau sous pression avec les éléments d'un silicate de potasse, expérience ayant pour objet la reproduction de l'orthose, MM. Friedel et Sarasin ont aussi obtenu du quartz cristallisé, mais cette fois avec des formes plus raccourcies et plus rapprochées par conséquent de celles du quartz bipyramidé des roches. En raison de ce fait, au point de vue géologique, l'expérience est très importante.

M. Hautefeuille[2] a obtenu simultanément des cristaux d'orthose et de quartz, en fondant un mélange de phosphates alcalins, de silice et d'alumine, associés à une substance fluorée. La réaction a lieu au-dessous de 700°. « La production simultanée de ces deux espèces « prouve que l'orthose a cristallisé à une température « moins élevée qu'en présence des tungstates et phos- « phates exempts de fluor. »

Les faces du quartz sont e^2, p et $e^{1/2}$.

Enfin, M. Hautefeuille, dans une série d'expériences encore inédites, est parvenu à reproduire le quartz cristallisé à une température relativement basse et sous une faible pression, en se servant de l'action de l'acide hydrofluosilicique comme minéralisateur sur la silice gélatineuse. La cristallisation s'opère vers 200°, dans un tube de platine hermétiquement clos.

Tridymite. — La tridymite a été observée par **M. Vélain** dans des matières vitreuses formées accidentellement,

1. Friedel et Sarasin, *Bull. Soc. minéral.*, 1879, p. 113.
2. Hautefeuille, *C. r.*, t. XCIII, 1880, p. 686.

l'une provenant de l'incendie d'une meule de blé de Petit-Brie (Seine et Marne), l'autre de celui d'une meule d'avoine de Nogentel (Aisne)[1].

Sa présence a été constatée par **M. Daubrée** dans les briques romaines des thermes de Plombières, où elle s'était déposée à la longue sous l'influence et probablement par décomposition du silicate de soude en dissolution dans l'eau minérale[2].

MM. Schulze et Stelzner[3] ont trouvé la tridymite associée à la gahnite et à la willémite dans les parois vitrifiées des moufles ayant servi à la distillation du zinc (méthode silésienne).

La tridymite a été reproduite artificiellement pour la première fois par **G. Rose**, en fondant de l'adulaire du Saint-Gothard dans du sel de phosphore et soumettant la matière fondue à un lessivage[4]. Le résidu que l'on obtient, est formé de lamelles cristallines, pour la plupart à contours hexagonaux réguliers, sans action sensible sur la lumière polarisée; ces lamelles sont composées uniquement de silice; elles sont groupées à la façon de la tridymite naturelle et possèdent d'ailleurs comme elle une densité 2,317, inférieure à celle du quartz.

L'identité du produit artificiel et du minéral naturel est complète. Le même savant a encore préparé la tridymite en fondant un mélange de silice amorphe en excès et de soude et en lessivant le résidu de l'opération.

Même succès en employant un mélange de silice et de wollastonite. Les lamelles cristallines obtenues dans ce cas sont déjà visibles à l'œil nu.

Même résultat en fondant la silice ou un silicate avec un excès de borax. Il se forme une perle vitreuse, recou-

1. Vélain, *Bull. Soc. minéral.*, 1878, p. 113.
2. Daubrée. *Études synthétiques de géol. expérim.*, 1878, p. 175.
3. H. Schulze et A. Stelzner, *Neues Jahrb.*, 1881, p. 120.
4. G. Rose, *Acad. des sc. de Berlin*, 1869, p. 449.

verte d'un enduit neigeux, composé de cristaux maclés de tridymite.

Le procédé, employé par **M. Hautefeuille** pour reproduire la tridymite, diffère peu, quant à son principe, de ceux qui ont été mis en usage par G. Rose[1]. Il consiste aussi à décomposer un silicate alcalin par un acide fixe à haute température. L'acide réagissant ici est l'acide tungstique. La réaction en question se fait en fondant un mélange de silice et de tungstate de soude et lessivant le produit de l'opération. La production de la tridymite est déjà manifeste au bout de quelques heures de chauffe. Dans le résidu du lessivage, on trouve de minces lamelles hexagonales, maclées entre elles suivant le mode caractéristique connu pour la tridymite. Si l'opération est prolongée davantage, on obtient des lamelles épaisses à pans non striés, dont le poids spécifique est égal à 2,30. Une élévation trop considérable de la température amène la formation exclusive d'un silicate et empêche la silice de s'isoler à l'état libre.

On doit à **MM. Friedel et Sarasin** un mode tout différent de reproduction de la tridymite, mode fondé sur l'emploi de la voie humide[2]. Ces deux savants expérimentateurs ont, en effet, opéré en présence de l'eau à haute température. En chauffant, en vase clos au rouge naissant, de la silice gélatineuse au sein d'une solution alcaline, ils ont produit, en même temps qu'une certaine quantité de quartz, de minces lamelles hexagonales ayant la composition et les propriétés physiques du minéral en question.

Il est à peine besoin de dire que la reproduction de la tridymite dans la nature ne peut être attribuée au réactif mis en œuvre par M. Hautefeuille. L'intervention de l'acide phosphorique et de l'acide borique employés par

1. Hautefeuille, *C. r.*, t. LXXXVI, 1878, p. 1133.
2. Friedel et Sarasin, *Bull. Soc. minéral.*, 1879, p. 160.

M. G. Rose est aussi improbable; ces deux acides sont, en général, bien peu abondants dans les gisements de tridymite et pour les considérer comme ayant joué un rôle marqué dans la production de la tridymite naturelle, il faudrait admettre qu'ils se sont comportés comme des minéralisateurs, ce qui est ici purement hypothétique.

Une supposition beaucoup plus probable est que l'acide silicique en excès a bien pu, lui-même, remplir la fonction d'acide fixe, dans une réaction à haute température, analogue à celle qui a été mise en lumière par G. Rose. Si une telle explication était vraie, on comprendrait que, dans le cas d'épanchements éruptifs très acides, la tridymite se fût isolée ainsi dans un magma de silicates fondus. Cependant, si l'on remarque que la tridymite abonde dans certaines laves modernes, comme les laves de Santorin, par exemple, qui sont loin d'être sursilicatées, on attribuera dans certains cas l'origine de la tridymite naturelle à l'intervention d'un mode opératoire analogue à celui qui a été employé par MM. Friedel et Sarasin. Une telle opinion est en outre corroborée par ce fait que, dans les gisements de tridymite au sein des laves, l'action secondaire qu'a exercée l'eau, est incontestable; elle y a engendré des produits variés d'altération, et cela sous les yeux de l'observateur.

Nous avons obtenu une variété de silice cristallisée en fondant un excès de silice avec les éléments de l'augite, puis avec ceux de l'enstatite et enfin avec ceux de l'hypersthène. Dans ces trois séries d'expériences, nous avons obtenu des culots entièrement cristallisés. Un premier recuit à haute température y développe le minéral en question, puis un second recuit, avec le dispositif n° 3, transforme la partie, restée vitreuse, en bisilicate cristallisé.

Les plaques minces montrent de nombreux microlithes incolores ($0^{mm},500$ sur $0^{mm},030$), englobés dans le bisi-

licate, à la façon des microlithes feldspathiques des ophites.

Cette variété de silice cristallisée prend entre les nicols croisés les teintes grises habituelles au feldspath; les extinctions sont longitudinales, le signe négatif, les pointements grossièrement rectangulaires. Il y a absence de macle et l'on aperçoit des clivages transversaux analogues à ceux de l'apatite. Une attaque prolongée pendant trois jours, à chaud, par l'acide hydrofluosilicique, a dissous complètement le bisilicate et laissé intact le minéral en question; nous en avons recueilli de cette façon 107 milligr., qui, traités par l'acide fluorhydrique, ont laissé, après évaporation à sec, un résidu de 1 milligramme. C'est donc une variété de silice sensiblement pure.

Ainsi on a affaire à de la tridymite ou à de l'asmanite. Les propriétés optiques, constatées précédemment, ne tranchent pas la question; quant à la forme et aux clivages, ils font plutôt conclure à une variété prismatique. Il est à présumer que cette variété de silice peut se présenter dans un certain nombre de roches naturelles de fusion purement ignée, et y prêter à des confusions avec des microlithes feldspathiques non maclés.

Quartz à pointements aigus. — Il nous reste maintenant à parler de la remarquable variété de quartz due à M. **Hautefeuille** [1]. Le procédé employé consiste, comme pour la tridymite, à dissoudre la silice dans le tungstate de soude et à maintenir le mélange à l'état fondu pendant plusieurs semaines. La température ne doit pas dépasser 950° et il semble que la réaction cherchée s'accomplisse surtout avantageusement quand on opère entre 850° et 900°, en faisant osciller la température. Le produit qu'on obtient, a un poids spécifique 2,61, très voisin

1. Hautefeuille, *C. r.*, t. LXXXVI, 1878, p. 1133.

de celui du quartz naturel; mais il en diffère par ses formes cristallines. Les pointements du sommet sont beaucoup plus aigus que ceux des cristaux naturels. Au lieu des faces p et $e\ \frac{1}{2}$ qui dominent dans les cristaux de quartz normaux, les faces les plus développées sont e^5 et e^1; et cette prédominance des faces anormales est d'autant plus marquée que la température a été plus élevée. La pyramide du sommet a une hauteur double de celle de la pyramide des cristaux naturels. Et même, si, au lieu de tungstate de soude, on emploie comme réactif du tungstate de lithine, les cristaux obtenus sont encore plus aigus, la pyramide du sommet a une hauteur quadruple. Les faces e^5 et e^1 jouent évidemment un rôle prépondérant dans la constitution du produit, et les stries, dont elles sont couvertes, attestent que son accroissement s'est opéré parallèlement à ces faces. Cependant les cristaux recueillis ne sont pas dépourvus des faces normales p et $e\ \frac{1}{2}$, et même les facettes dissymétriques du quartz naturel s'y observent quelquefois. Les couleurs de polarisation sont vives et les extinctions normales. Plusieurs angles ont pu être mesurés. En somme : « Il est intéressant[1] de voir que les cristaux préparés par M. Hautefeuille par un procédé très curieux, mais qui s'éloigne beaucoup sans doute de celui de la nature, ne sont pas conformes au type si remarquablement constant des cristaux naturels. »

Essais divers. — La production du quartz ne paraît pas se faire par décomposition du chlorure ou du fluorure de silicium en présence de la vapeur d'eau, quelle que soit la température employée. En pratiquant cette méthode, M. **Daubrée** a recueilli seulement quelques lamelles cristallines triangulaires, trop petites et trop peu nom-

1. Mallard, *Ann. des mines*, 1879, p. 293.

breuses pour être l'objet d'une détermination précise.

La décomposition des mêmes réactifs par des bases telles que la chaux, la magnésie, l'alumine, donne lieu à la formation de silicates divers, mais aucun des cristaux produits ne peut être sûrement rapporté au quartz.

Il y a lieu également de mettre en doute la possibilité d'une transformation du quartz naturel en tridymite par le fait d'une simple calcination. Il est vrai que certains quartz deviennent laiteux quand on les chauffe, mais rien n'indique sûrement que l'opale fasse défaut dans ces échantillons, ni qu'il y ait eu épigénie. Dans les expériences de ce genre qui semblent les plus concluantes, **G. Rose** a constaté seulement la production de petites lamelles ou de globules blancs qui, dit-il, peuvent être considérées comme un commencement de formation de tridymite. Il est évident qu'une telle opinion aurait besoin d'être contrôlée par des études nouvelles.

La silice fibreuse, à éclat soyeux, que l'on a recueillie à diverses reprises sur les parois des hauts fourneaux, ne peut être, avec certitude, considérée comme du quartz. Les descriptions, que l'on en possède, sont trop vagues pour que l'on puisse faire une telle assimilation. Les analyses de Vauquelin, de Schnabel et d'autres auteurs qui ont étudié ces produits, montrent seulement que, dans ces cas, on a eu affaire à de la silice renfermant quelques centièmes de matières étrangères.

La même incertitude règne sur la nature minéralogique d'une variété de silice, obtenue par **Jeffreys** en faisant passer un courant de vapeur d'eau dans un four à porcelaine, chauffé à une température supérieure au point de fusion du fer. La silice, provenant de la décomposition des briques du four, revêtait la partie supérieure de la voûte sous forme d'un dépôt comparable à du givre.

Opale. — Des échantillons variés de silice hydratée, possédant la dureté, la densité et la transparence de l'opale, ont été obtenus par plusieurs expérimentateurs et par des procédés divers.

Ebelmen est le premier qui ait atteint ce résultat[1]. Le moyen, employé par lui, sort tout à fait du domaine habituel des procédés minéralogiques. Il consiste à décomposer l'éther silicique par la chaleur ou par l'eau. Dans le premier cas, Ebelmen obtint une masse opaline qui, comme l'hydrophane, devenait transparente dans l'eau. Pour opérer la décomposition dans le second cas, il abandonnait l'éther silicique à l'air humide. Alors, surtout quand l'éther était mélangé d'un peu de chlorure de silicium, il se formait une masse transparente qui devenait dure et opaline au bout de quelque temps et prenait entièrement l'aspect de l'opale. Le poids spécifique de cette substance a été trouvé égal à 1,77.

Ebelmen signale ce fait, qu'une très petite quantité de matière étrangère suffit pour changer l'aspect et le degré de transparence du produit. Ainsi, par exemple, un flacon qui renfermait de l'éther silicique ayant été accidentellement clos avec un bouchon de liège dont on s'était servi pour fermer un flacon rempli de créosote, la pénétration de l'air humide au contact de l'éther silicique fournit une opale jaunâtre semblable à de l'ambre.

En mélangeant à l'éther silicique des solutions alcooliques de substances colorées, on peut obtenir diverses variétés d'opale. L'une des plus belles provient du mélange avec le chlorure d'or; elle a la couleur de la topaze. Au bout de quelque temps, sous l'influence de la lumière, une réaction s'opère; le dépôt formé se remplit de lamelles d'or et prend l'aspect de l'aventurine.

Becquerel a produit une variété remarquable de silice

1. Ebelmen, *C. r.*, t. XXI, 1845, p. 502.

hydratée, en mettant en contact une lame de gypse avec une solution de silicate de potasse, dans un flacon imparfaitement bouché[1]. L'acide carbonique de l'air décompose lentement le silicate de chaux formé et il se sépare un dépôt blanc, grenu, de silice hydratée. Ce produit contient 12 pour 100 d'eau et raye le verre. Le même savant[2] a fait encore réagir, au travers d'une cloison poreuse, deux solutions, l'une d'acide chlorhydrique, l'autre de silicate de potasse et a obtenu ainsi, sur la face alcaline de la cloison, des lamelles transparentes de silice hydratée, rayant le verre, qui perdent leur transparence à l'air libre, mais la reprennent par une immersion dans l'eau.

Guidé par d'autres considérations théoriques, **M. Frémy**[3] a mis en usage ce même procédé et traité des solutions de silicate de potasse, à divers degrés de concentration, par l'acide sulfurique, l'acide nitrique et l'acide chlorhydrique étendus, en séparant les deux liquides réagissants par une cloison poreuse. Il a obtenu ainsi des masse cristallines grenues, rayant le verre, que l'on aurait pu prendre au premier abord pour des dépôts quartzeux ; mais, en étudiant ces produits, il s'est assuré qu'ils étaient hydratés, qu'ils se dissolvaient dans une solution concentrée de potasse et contenaient en outre une certaine quantité d'alcali dont on ne pouvait les débarrasser.

Des résultats du même genre se manifestent quand on décompose les silicates alcalins par l'acide carbonique gazeux ou en solution. Le dépôt siliceux, qui se forme, est plus ou moins cohérent, hydraté et toujours impur. Il en est de même, à fortiori, quand on fait intervenir un sel étranger, tel que le sulfate de fer (Becquerel), le carbonate de potasse (Maschke), le sulfate de fer (Gergens), le sulfate d'alumine (Monier).

1. Becquerel, *C. r.*, t. XXXIV, 1853, p. 200.
2. Id., *ibid.*, t. LXVII, 1868, p. 1081.
3. Frémy, *C. r.*, t. LXXII, 1871, p. 702.

Les expériences les plus récentes, tentées pour arriver à la reproduction de l'opale, sont dues à M. **Monier**[1]. L'auteur décompose le silicate de soude en solution concentrée par une solution étendue d'acide oxalique, en ayant soin de superposer les liquides dans un flacon, dans l'ordre de leurs densités. A la surface de contact, il se forme, au bout de quelques jours, une couche siliceuse résistante, qui raye le verre, contient 25 pour 100 d'eau et se dissout dans une solution bouillante de potasse. A l'air elle s'effleurit, happe fortement à la langue, possède une coloration laiteuse; mais quand on l'humecte, elle reprend sa transparence. Son poids spécifique est égal à 1,97.

Le microscope n'a pas été utilisé pour l'étude des échantillons de silice hydratée provenant de ces expériences diverses; c'est pourquoi on ne possède jusqu'à présent aucun renseignement certain sur leur structure intime. Il y a lieu cependant de supposer que leur constitution microscopique doit être assez rapprochée de celle de l'opale gélatinoïde. C'est au moins ce que l'on peut conjecturer, en se basant sur l'aspect de gelée que fournit l'attaque des silicates par l'acide hydrofluosilicique.

Les deux variétés d'opale à structure plus complexe, c'est-à-dire l'opale hyalitique et l'opale sphérolithique, n'ont pas été reproduites artificiellement. Mais nous devons mentionner ici deux cas intéressants de reproduction accidentelle de l'opale hyalitique.

Cette variété d'opale, en petits globules composés de couches concentriques et accompagnée de tridymite[2], a été signalée par M. **Vélain** à la surface des cavités d'un verre, provenant de la fusion des cendres d'une meule de blé. La même variété minérale a été trouvée par M. **Daubrée** dans le béton de Plombières[3].

1. Monier, *C. r.*, t. LXXXV, 1877, p. 1053.
2. Vélain, *Bull. Soc. minéral.*, 1878, p. 113.
3. Daubrée, *Géol. expérim.*, 1879, p. 180.

Ces deux observations confirment le fait, indiqué d'ailleurs par les études géologiques, que l'opale a pris naissance dans la nature en présence de l'eau, à des températures très variées.

Application à la géologie. — Par voie humide et sous pression, le *quartz* a été obtenu identique à celui des filons concrétionnés.

Il est remarquable toutefois que M. Hautefeuille ait pu l'obtenir par voie sèche (chlorure de lithium), avec sa forme et son pointement normal.

Enfin l'emploi de l'acide hydrofluosilicique comme minéralisateur, suivant les récentes expériences de M. Hautefeuille, correspond probablement au développement du quartz, par voie métamorphique, dans un grand nombre de cas.

La *tridymite* a été reproduite: 1° par voie ignée, 2° par voie humide sous pression, à haute température. La production de ce minéral dans les laves encore brûlantes, au moment de leur épanchement, semble attester l'influence simultanée de ces deux modes d'action.

La décomposition lente des silicates alcalins, par un acide, a pu donner naissance à certaines variétés d'*opale* dans la nature comme dans les laboratoires.

III. (β). SILICATES A BASES MONOXYDES

PÉRIDOT ($2MgO, SiO^2$).

1823. Berthier. — **1851.** Ebelmen. — **1865.** Hautefeuille. — **1866.** Daubrée. — **1868.** Lechartier. — **1881.** Fouqué et Michel Lévy. — **1881.** Stanislas Meunier.

Le péridot est, de toutes les substances cristallisées, celle qui se présente le plus souvent dans les scories et dans les laitiers des hauts fourneaux. Il y est ordinairement très riche en fer, et ces échantillons appartiennent par conséquent en général à sa variété ferrugineuse, la fayalite. Dans quelques cas rares, on a cependant trouvé, dans ces produits, des péridots magnésiens, se rapprochant, par suite, de l'olivine par leur composition.

Mitscherlich[1] et **Nöggerath**[2] sont les premiers qui aient signalé la reproduction accidentelle du péridot dans les matériaux silicatés fondus, rejetés par les hauts fourneaux. Depuis lors, bien souvent on a eu occasion de recueillir ce minéral dans de telles conditions; on a pu fréquemment en faire l'analyse et en étudier les formes cristallines. Parmi les savants qui se sont livrés à ces études, nous citerons: **Von Dechen, Bothe, Sokolow, Percy, Walchner.**

Le péridot des laitiers et scories de haut fourneau set

1. Mitscherlich, *Ac. W. Berlin*, 1823.
2. Nöggerath, *Jahrb. f. M.*, 1844, p. 223.

noir, brunâtre ou vert olive, il possède un éclat vitreux ou gras et souvent présente des faces striées, miroitantes. Il est magnétique. Sa dureté est représentée par 6. Ses faces sont généralement convexes, ses angles émoussés. Il présente trois clivages perpendiculaires entre eux, un facile suivant p, deux autres suivant h^1 et g^1. Son poids spécifique est d'environ 3,8. Les faces dominantes sont : p, g^1, h^1, m, e^1. Les angles principaux ont été mesurés et trouvés identiques aux angles analogues des cristaux naturels.

La première reproduction du péridot est due à **Berthier** ; il a employé la voie de fusion purement ignée.

Le même minéral a été obtenu par **Ebelmen**[1]. Il est arrivé à ce résultat en fondant les éléments du péridot avec les agents acides ou alcalins volatils, à haute température, dont il s'est servi dans ses autres expériences.

En employant un mélange de silice, de magnésie et d'acide borique, on obtient un culot dont les cavités sont tapissées de cristaux transparents, jaune verdâtre, d'un péridot magnésien. Ces cristaux peuvent être dégagés du milieu, qui les supporte, à l'aide d'un traitement par l'acide chlorhydrique étendu et froid, ou par l'eau chaude. Ce sont des prismes orthorhombiques allongés, à six faces, terminés par un biseau. Les faces dominantes sont g^1, g^5 et e^1. Les angles de ces faces ont été mesurés et ont donné des nombres identiques à ceux des cristaux naturels.

Ebelmen a constaté en outre que le péridot ainsi obtenu rayait le verre et non le quartz, qu'il était infusible au chalumeau et attaquable par l'acide chlorhydrique, avec dépôt de silice gélatineuse.

La fusion à haute température des éléments du péridot avec la potasse caustique a fourni également à Ebelmen des cristaux de péridot identiques aux précédents.

1. Ebelmen, *Ann. de ph. et ch.*, t. XXXIII. 1851, p. 34.

On doit à Ebelmen d'avoir constaté que, lorsqu'on opère sur un mélange de silice et de magnésie de composition intermédiaire entre le péridot et le pyroxène magnésien, on obtient à la fois les deux minéraux cristallisés.

M. **Hautefeuille**[1] a reproduit artificiellement le péridot en fondant un mélange de silice, de magnésie et de chlorure de magnésium.

Dans ses expériences sur la fusion des météorites, M. **Daubrée**[2] a obtenu un magma cristallin composé d'enstatite, de péridot et de granules de fer métallique. L'opération se faisait dans un creuset de charbon, par voie de fusion ignée.

M. **Lechartier**[3] a reproduit deux variétés de péridot, l'une purement magnésienne et de densité 3,19, l'autre ferro-magnésienne et de densité 3,22, en fondant les éléments de ces minéraux avec un excès de chlorure de calcium, dans un creuset de charbon de cornue, enveloppé d'un creuset de terre. On chauffe au rouge vif pendant deux heures environ ; la température est plus élevée que pour la production du pyroxène dans les mêmes conditions, et d'autant plus haute que le produit est plus magnésien.

Le péridot s'obtient en lamelles transparentes, attaquables par les acides. Nous avons étudié ces beaux produits au microscope ; les cristaux aplatis suivant g^1, montrent de profil les faces p, a^1, h^1. Les propriétés optiques, en lumière parallèle et convergente, sont celles du péridot naturel.

Comme impuretés, nous avons constaté, dans le pyroxène seulement magnésien, de nombreux petits octaèdres de pléonaste. Dans le pyroxène ferrugineux, on

1. Hautefeuille, *Ann. de ph. et ch.*, t. IV, 1865, p. 129.
2. Daubrée, *C. r.*, t. LXII, 1866, p. 200.
3. Lechartier, *C. r.*, t. LXVII, 1868, p. 41.

aperçoit une grande abondance de trichites, composés d'un globulite suivi d'un ou de deux appendices filiformes, et alignés en files parallèles aux arêtes pg^1, h^1g^1 ; il y a en outre des rosettes et des lamelles hexagonales de fer oligiste, témoignant de l'excès de fer employé.

Dans plusieurs de nos expériences[1], nous avons reproduit, par fusion ignée et recuit convenable, le péridot associé au pyroxène, au labrador et au fer oxydulé, dans le basalte artificiel; au pyroxène, à l'enstatite, au fer oxydulé, à l'anorthite, dans les météorites artificielles. Il exige toujours un recuit à très haute température (dispositif n° 2) et prend d'abord des formes cristallitiques remarquables, indiquant une genèse centripète des cristaux (voir page 62)[2]. Dans les basaltes, il se montre en grands cristaux à formes cristallines nettement accusées (g^1, p, h^1, a^1), tandis que dans les météorites il est en globules irréguliers, juxtaposés aux autres minéraux.

M. Stanislas Meunier[3], en faisant passer, au rouge, de la vapeur d'eau et du chlorure de silicium sur du magnésium métallique, annonce qu'il a obtenu divers produits au nombre desquels figurent: la silice et la magnésie libres, le siliciure de magnésium, le chlorure de magnésium, un bisilicate de magnésie cristallisé et enfin une substance attaquable comme le péridot par l'acide chlorhydrique bouillant, avec dépôt de silice gélatineuse et dissolution de magnésie. « Le produit complexe laisse « voir au microscope la présence d'innombrables grains « hyalins très actifs sur la lumière polarisée, et qui, par« fois cristallins, sont remarquables le plus souvent par « leurs formes arrondies et leur extrême petitesse. Les « plus gros dépassent rarement $0^{mm},01$, et pour la plu« part, ils atteignent à peine $0^{mm},004$. Malgré leurs très

1. Fouqué et Michel Lévy, *C. r.*, 1881, t. XCII, p. 367.
2. Fouqué et Michel Lévy, *Bull. Soc. minéral.*, 1881, p. 275.
3. Stan. Meunier, *C. r.*, t. XCIII, 1881, p. 737.

« faibles dimensions, on reconnaît qu'ils renferment très « souvent des inclusions gazeuses. »

Péridot lithique. **MM. Hautefeuille et Margottet**[1] ont obtenu ce composé en fondant ses éléments dans un excès de chlorure de lithium. Le silicate produit est en longs prismes, quelquefois terminés par un dôme symétrique : ce sont des prismes à 6 pans dérivés d'un prisme orthorhombique de 119°.

Application à la géologie. — L'olivine normale est un minéral qui ne se rencontre que dans les roches d'origine ignée : roches volcaniques, lherzolithes, météorites. Les expériences de Berthier, de M. Daubrée et les nôtres montrent qu'elle s'y produit par cristallisation au sein d'un magma fondu.

TÉPHROÏTE ($2MnO, SiO^2$).

1823. Berthier.

Berthier a reproduit artificiellement ce monosilicate de manganèse, orthorhombique et analogue au péridot, par voie de fusion ignée, en fondant un mélange de silice et de carbonate de manganèse.

1. Hautefeuille et Margottet, *C. r.*, t. XCIII, 1881, p. 626.

WILLÉMITE ($2ZnO, SiO^2$).

1861. Henri Sainte-Claire Deville.

MM. **Schulze** et **Stelzner**[1] ont constaté la présence de la willémite dans la paroi des moufles ayant servi à la distillation du zinc (méthode silésienne). Ce minéral s'y présente en prismes hexagonaux, transparents, jaunâtres ou d'un brun violacé. Leurs dimensions sont $0^{mm},25$ sur $0^{mm},03$; ce sont des prismes basés sans pointement terminal; on y observe des inclusions vitreuses; les couleurs de polarisation sont vives, les extinctions longitudinales. La willémite est ici associée à des octaèdres de gahnite.

Henri Sainte-Claire-Deville a reproduit artificiellement ce minéral[2], en faisant passer du fluorure de silicium sur le zinc fondu ou sur de l'oxyde de zinc chauffé au rouge, ou encore en faisant agir à haute température le fluorure de zinc sur la silice. Une petite quantité de fluorure de silicium peut transformer en willémite une quantité illimitée d'oxyde de zinc et de silice. La willémite ainsi obtenue est incolore, translucide, cristallisée en prismes hexagonaux réguliers. La composition est celle de la willémite naturelle

Silice	26,4
Oxyde de zinc	73,6

Essais divers. — **Ebelmen**[3], en chauffant à haute température un mélange d'acide borique, de silice et d'oxyde

1. H. Schulze et A. Stelzner, *Neues Jahrb.*, 1881, p. 120.
2. Ebelmen, *Ann. de ph. et ch.*, t. XXXIII, 1851, p. 38.
3. Henri Sainte-Claire Deville, *C. r.*, t. LII, 1861, p. 1304.

de zinc dans les proportions constitutives de la willémite, a obtenu un silicate de zinc cristallisé qui ne paraît pas identique à la willémite.

Application à la géologie. — La willémite s'observe : 1° associée aux minerais de zinc dans les mines de la Vieille-Montagne, de Stollberg, etc.; 2° dans les roches métamorphiques qui contiennent la franklinite et la zincite.

L'emploi du fluor comme minéralisateur, dans les expériences artificielles, explique ce second mode de gisement.

PYROXÈNE (MO, SiO^2).

Augite. — **1823.** Berthier. — **1858.** Charles Sainte-Claire Deville. — **1868.** Lechartier. — **1878.** F. Fouqué et Michel Lévy.
Diopside. — **1857.** Daubrée. — **1868.** Lechartier.
Pyroxène magnésien. — **1851.** Ebelmen. — **1864.** Hautefeuille. — **1880.** Stanislas Meunier. — **1881.** F. Fouqué et Michel Lévy.

Augite. — Ce minéral a été rencontré souvent, accidentellement reproduit, dans les laitiers et les scories des fourneaux de l'industrie et dans les dépôts qui se forment au fond des creusets de verrerie. Il s'y présente ordinairement en groupes complexes, constituant des masses entièrement cristallines et divisées en alvéoles par les saillies des cristaux. Quelquefois cependant il a été trouvé en cristaux isolés ressemblant à ceux de la nature.

La première observation d'augite accidentellement reproduit est due à **Mitscherlich**[1]; elle se rapporte à des cristaux rencontrés dans les scories des fourneaux à

1. 1823. Voir Leonhard, *Hüttenerzeugnisse*, p. 275.

cuivre de Fahlun en Suède. L'identité de forme de ce produit avec l'augite naturel a été constatée par des mesures goniométriques.

Plus tard **Nöggerath**[1] étudia des cristaux d'augite de plusieurs centimètres de long recueillis dans les scories du haut fourneau d'Olsberg près Pogge.

Des cristaux bruns, en longues aiguilles prismatiques, provenant des scories du fourneau de Skis-Hytta, ont été étudiés par **Leonhard**[2]. L'augite a encore été observé dans les scories des fours à chaux, particulièrement à Tenndorf, près Culmbach.

Nöggerath a décrit des prismes noirs d'augite trouvés dans les scories provenant du grand incendie de Hambourg. M. **Vélain** a signalé aussi la formation de l'augite dans des matières vitreuses provenant de l'incendie de meules de blé à Petit-Brie.

M. **Mallard**[3] a constaté la présence de petits cristaux d'augite, associés à l'anorthite et à la rhabdite, dans les produits de la combustion spontanée des houillères de Commentry et de Cransac.

L'augite a été reproduit artificiellement pour la première fois par **Berthier**[4]. Ce savant, en fondant les éléments de l'augite dans un four à porcelaine de Sèvres, a obtenu des cristaux de cette espèce minérale sous la forme qu'elle affecte habituellement dans la nature; il signale en effet, dans les échantillons obtenus, le développement des faces m, p, g^1, $d^{1/2}$.

Charles Sainte-Claire Deville[5] a obtenu des cristaux d'augite en chauffant au rouge un grès de Fontaine-

1. Nöggerath, *J. f. pr. Ch.*, t. XX, p. 501. — *Jahr. f. Min.*, 1841, p. 745. — *C. r.*, t. X, p. 897.
2. Leonhard, *Jahr. f. Min.*, 1853, p. 641.
3. Mallard, *Bull. Soc. min.*, 1881, p. 230.
4. Berthier. Voir la note de Mitscherlich, *Ann. ph. ch.*, t. XXIV, 1823, p. 374, et *Essai sur la fusibilité des silicates.*
5. Ch. Sainte-Claire Deville, *expérience inédite*, 1858.

bleau légèrement ferrugineux, préalablement imprégné d'une dissolution de chlorure de magnésium. Après refroidissement du morceau de grès, on constate à la loupe que tous les grains quartzeux qui le composent sont enchevêtrés avec de jolis petits cristaux noirs d'augite, ayant la forme habituelle de ce minéral dans la nature.

Les recherches les plus complètes sur la reproduction du pyroxène sont dues à **M. Lechartier**[1]. Ce savant a formé de toutes pièces, avec leurs éléments chimiques, les diverses variétés naturelles de pyroxène. Le procédé qu'il a mis en œuvre, à cet effet, consiste à fondre ces éléments avec un excès de chlorure de calcium, dans un creuset de charbon de cornue, enveloppé d'un creuset de terre. On porte la température au rouge vif pendant une heure ou deux, puis on laisse le creuset se refroidir lentement. Après refroidissement, on lessive le culot obtenu, afin d'enlever le fondant employé. La température de l'opération doit être plus élevée pour la reproduction des bisilicates magnésiens ou calcaires que pour celle des bisilicates ferrugineux.

Quand le produit à obtenir est très ferrugineux, le fer est introduit à l'état de sesquioxyde. Le creuset de charbon qui produirait une réduction trop forte, est remplacé par un creuset de terre et la transformation du sesquioxyde de fer en protoxyde est opérée simplement par les gaz du fourneau.

Les cristaux de pyroxène qui se forment dans ces conditions, ont de 6 à 10^{mm} de long; ils sont répartis irrégulièrement dans le culot de chlorure de calcium. Au fond de ce culot se trouve un amas de matière vitreuse silicatée, dans laquelle il existe quelquefois des cristaux.

Pour produire les pyroxènes ferrugineux, il faut employer un excès de sesquioxyde de fer, car une partie de

1. Lechartier, *C. r.*, t. LXVII, p. 41, 1868.

cet oxyde se transforme en perchlorure, par l'action du chlorure de calcium, et disparaît en se volatilisant. Le chlorure de calcium peut être remplacé par le bisulfate de soude.

Les cristaux qui se forment, possèdent la composition théorique, la forme cristalline et les autres propriétés physiques des diverses variétés naturelles de pyroxène.

Les principaux types de pyroxène, reproduits par M. Lechartier, sont les suivants :

$\left.\begin{matrix}Ca\\Mg\end{matrix}\right\}$ O, SiO^2	poids spécifique	3,2
$\left.\begin{matrix}Ca\\Mg\\Fe\end{matrix}\right\}$ O, SiO^2	»	3,3
$\left.\begin{matrix}Ca\\Mg\\Fe\\Mn\end{matrix}\right\}$ O, SiO^2	»	3,35

Nous avons obtenu[1] l'augite, par fusion ignée et recuit, soit isolément, soit associé aux minéraux les plus divers. Il se produit, en effet, dans les bains acides ou basiques, soit que le magma employé cristallise en masse, soit qu'une portion reste à l'état vitreux.

Souvent même, il se produit seul, au milieu d'une masse qui refuse de cristalliser. Il prend naissance avec l'oligoclase, le labrador, l'anorthite, la leucite, la néphéline, l'olivine, l'enstatite, la mélilite, dans un verre ayant la composition de l'orthose ou de l'albite.

La température convenable pour la production de l'augite oscille entre des limites assez étendues (dispositifs nos 3 et 4). Mais, de plus, il se produit presque instantanément à l'état de fins microlithes, lorsqu'on opère le refroidissement brusque d'un culot chauffé au rouge vif.

Il faut au contraire un recuit prolongé, à température convenable, pour obtenir de grands cristaux d'augite,

1. Voir nos reproductions de roches, pages 60, 62 et suivantes.

isolés ou combinés aux feldspaths tricliniques, sous la forme ophitique.

En présence des feldspaths, les microlithes artificiels d'augite sont brunâtres et raccourcis, comme ceux des basaltes naturels. En association à la néphéline ou à la leucite, ils sont allongés et d'un vert pâle, comme ceux des leucitites et des néphélinites naturelles.

Les arborisations de pyroxène que l'on observe dans les fonds de creuset des verreries et dans les laitiers, ne se produisent que quand le recuit a présenté une durée insuffisante ; ce sont, à proprement parler, des cristaux naissants. Nous avons précédemment résumé (page 58) les caractères optiques et chimiques qui ne laissent planer aucun doute sur la détermination des microlithes, même très ténus, de pyroxène.

Diopside. — Le diopside a été rencontré à l'état de cristaux distincts et mesurables, parfois de grandes dimensions, dans les laitiers des hauts fourneaux et des fours à puddlage, notamment à Philipsburg (New-Jersey), à Jennbach (Tyrol), à Gammelbola (Westmoreland) ; mais on le trouve surtout fréquemment au fond des creusets de verreries.

Un exemple remarquable de reproduction accidentelle de diopside a été signalé par **M. Grüner**[1], dans les fours à briques de Blaenavon (pays de Galles). Les cristaux observés contiennent 28 pour 100 de chaux, 19 de magnésie et seulement 0,3 de sesquioxyde de fer. L'absence d'alumine dans leur composition est d'autant plus singulière que les briques en contiennent 11 pour 100.

Le diopside a été reproduit artificiellement par **M. Daubrée**[1] au moyen de la voie humide. L'eau chauffée en

1. Grüner, *C. r.*, t. LXXXVII, 1878.
2. Daubrée, *C. r.*, t. XLV, p. 792, 1857, et *Géologie expérimentale*, p. 175.

vase clos à la température du rouge sombre, dans un tube de verre vert, donne un pyroxène à base de chaux et de fer, transparent et à peine coloré, que M. Daubrée rapporte au diopside. Les cristaux ainsi formés rayent le verre; l'acide chlorhydrique bouillant ne les attaque pas; ils fondent au chalumeau en émail noir. Les uns sont isolés dans le liquide que contient le tube; les autres sont groupés et forment des petits globules hérissés de pointements fortement adhérents à la matière du tube, ou même compris dans l'épaisseur de sa paroi. Les premiers sont dépourvus de la face *p;* les faces qu'on y observe sont $d^{1/2}$, g^1, h^1, *m*. Les seconds présentent les faces *p*, *m*, g^1; la face *p* y est la plus développée.

La reproduction du diopside a été effectuée par M. **Lechartier**, suivant la méthode indiquée à propos de l'augite, en employant un mélange de silice, de chaux et de magnésie.

Pyroxène magnésien. — **Ebelmen** a décrit, sous le nom de diopside, un bisilicate de magnésie obtenu en fondant un mélange de silice et de magnésie en proportions convenables avec un excès d'acide borique. Après chauffage prolongé dans un four à porcelaine et évaporation de la majeure partie de l'acide borique, la capsule de platine contenant les matériaux de l'expérience se montre couverte de prismes opaques, blancs, longs de plusieurs centimètres. Les mesures goniométriques donnent $h^1/m = 133°35'$, $m/m = 87°31'$.

Par l'observation à la lumière convergente entre les nicols croisés, Ebelmen a constaté que ces cristaux étaient à deux axes et que le plan des axes était parallèle aux arêtes du prisme.

Le poids spécifique trouvé est égal à 3, 16 et la compo-

1. Ebelmen, *Ann. de ph. et ch.*, 1851, t. XXXIII, p. 34.

sition, donnée par l'analyse, correspond bien à la formule MgO, SiO^2.

De pareils caractères s'appliquent aussi bien à un minéral orthorhombique qu'à un corps monoclinique et l'on pourrait être tenté de rapporter le produit d'Ebelmen à l'enstatite. Mais une étude attentive au microscope à lumière parallèle nous permet de conclure qu'il appartient à la famille des pyroxènes. En effet les cristaux en question sont très maclés; les plans de jonction, parallèles à h^1, donnent aux sections une apparence cannelée, visible même à la lumière naturelle et déjà signalée par Ebelmen. Les extinctions sur g^1 excluent toute idée d'un corps rhombique : loin d'être parallèles à l'allongement, elles se font à 28° environ, de part et d'autre de la ligne de macle. C'est un maximum inférieur à celui de l'augite, mais déjà fort élevé.

L'expérience d'Ebelmen donne un fondement certain à la détermination d'un pyroxène purement magnésien, puisqu'elle en a fixé la composition et les angles de la zone du prisme, et que d'autre part nous pouvons spécifier la position des axes d'élasticité dans la face g^1. Cette détermination nous paraît d'autant plus importante que le corps en question a été plusieurs fois reproduit et décrit sous le nom d'enstatite, et qu'il joue un rôle intéressant dans l'histoire des météorites naturelles et artificielles.

M. Hautefeuille[1] a soumis à l'action d'une haute température un mélange de silice et de chlorure de magnésium : le produit obtenu est identique, pour la majeure partie, à celui d'Ebelmen. Il est difficile de dire si quelques lamelles d'enstatite ne sont pas mêlées aux cristaux à macles multiples de pyroxène magnésien.

1. Hautefeuille, *Ann. de ph. et ch.*, 4e série, t. IV, p. 174, et *C. r.*, t. LIX, p. 734, 1864.

Le mélange, soumis à l'expérience, est renfermé dans un creuset de platine contenu dans un creuset de Hesse; l'action est lente, et complète seulement au bout de trois jours. La température utilisée est voisine de celle qui est nécessaire pour produire la volatilisation du chlorure de magnésium. La petite quantité de vapeur d'eau qui pénètre dans le creuset, est probablement la cause de la décomposition du chlorure. Le poids spécifique du produit est égal à 3,1 et la composition est sensiblement celle du bisilicate de magnésie pur.

Une expérience de **M. Daubrée**[1], relative à la reproduction du pyroxène par l'action du chlorure de silicium sur la magnésie et l'oxyde de fer, à haute température, a été récemment reprise, avec une légère modification, par **M. Stanislas Meunier**[2].

Il fait réagir, au rouge, la vapeur d'eau et le chlorure de silicium sur un fil de magnésium. Le tube dans lequel a lieu l'opération se couvre d'une poudre blanche cristalline. « Ce sont, dit M. Stanislas Meunier, des prismes non « terminés, clivables, très actifs sur la lumière polarisée, « fisurés, distribués souvent en groupe radiés. L'enchevê- « trement, la petitesse et la fissuration de ces cristaux « rappellent ce qu'on observe dans les météorites. »

Ce produit, décrit par M. Stanislas Meunier sous le nom d'enstatite, est identique au pyroxène magnésien: il en présente les macles et les extinctions.

Dans plusieurs de nos reproductions artificielles par fusion purement ignée[3] et recuit prolongé, nous avons constaté la production du même minéral, dans des mélanges exclusivement composés de magnésie, de fer et de silice, sans chaux ni alcalis (voir page 67).

En plaque mince, le pyroxène magnésien, incolore à la

1. Daubrée.
2. Stan. Meunier, *C. r.*, t. XC, p. 349, 1880.
3. F. Fouqué et Michel Lévy, *Bull. Soc. min.*, 1881, p. 279.

lumière naturelle, prend des teintes vives de polarisation : les nombreuses lamelles hémitropes dont il est composé lui donnent une apparence cannelée, toute spéciale, rappelant entre les nicols croisés l'hémitropie habituelle des feldspaths tricliniques ; les extinctions à 28° sur g^1 sont caractéristiques.

Application à la géologie. — L'**augite** est essenteillement un minéral des roches éruptives et volcaniques. Sa présence dans les roches d'origine ignée est expliquée par les expériences de Berthier et les nôtres; nous l'avons obtenu à l'état de grands cristaux et de microlithes, associé aux divers minéraux qui l'accompagnent ordinairement dans la nature, tantôt les englobant comme dans les roches à structure ophitique, tantôt simplement juxtaposé.

Le **diopside** se présente dans les calcaires cristallins, les dolomies, les schistes métamorphiques. La reproduction du diopside par voie humide, sous pression, signalée par M. Daubrée, fournit peut-être une indication sur les procédés mis en œuvre par la nature.

Le **pyroxène magnésien** est essentiellement un minéral des météorites. Les synthèses effectuées montrent qu'il a dû y prendre naissance par voie purement ignée.

ENSTATITE (MgO, SiO^2).

1866. Daubrée. — **1881.** F. Fouqué et Michel Lévy.

M. Daubrée[1] a obtenu, par voie de fusion, des cristaux d'enstatite ayant parfois plusieurs centimètres de long et

1. *C. r.*, t. LXII, p. 290 et 669, 1866.

formant des groupes radiés. Les matières employées pour l'expérience ont été très variées; ce sont :

1° Des météorites ;

2° Des roches et des minéraux isolés (lherzolithe, chlorite des Alpes, pyroxène de la Somma);

3° De l'olivine fondue avec un mélange de silice;

4° Un mélange de silicium, de magnésium et de fer, en présence d'un courant modéré d'oxygène.

M. **Hautefeuille**[1] a cherché à reproduire l'enstatite en soumettant à l'action d'une haute température un mélange de silice et de chlorure de magnésium. Son produit, dont il a bien voulu nous soumettre quelques échantillons, est principalement composé de pyroxène magnésien.

Le minéral artificiel décrit par M. **Stanislas Meunier**[2] sous le nom d'enstatite, est aussi un pyroxène magnésien, analogue à celui d'Ebelmen, dont on donne la description au chapitre du pyroxène.

Dans plusieurs[3] de nos expériences (météorites et lherzolithes artificielles), nous avons obtenu, comme M. Daubrée, l'enstatite associée à d'autres minéraux. Elle est incolore en plaques minces, non maclée, et présente des clivages parallèles aux côtés, souvent rectangulaires, de ses sections. Les extinctions se font parallèlement à ces clivages : à la lumière convergente, on constate que le minéral est à deux axes. Cette enstatite est inattaquable aux acides.

En augmentant la dose de silice et d'oxyde de fer, nous avons obtenu une variété d'enstatite de couleur brune, légèrement polychroïque, à clivages parallèles très rapprochés qui, peut-être, mérite d'être assimilée à une bronzite ou à un hypersthène. Quand on n'emploie pas

1. Hautefeuille. *Ann. de ph. et de ch.*, 4e série, t. IV, 1864, p. 174.
2. Stan. Meunier, *C. r.*, 1880, XC, 349.
3. F. Fouqué et Michel Lévy, *Bull. Soc. min.*, 1881, p. 279.

un excès de silice, le fer passe à l'état de magnétite sans s'incorporer dans les silicates.

Enstatite lithique. — MM. **Hautefeuille** et **Margottet**[1] ont obtenu un bi-silicate de lithine en fondant ses éléments dans un excès de chlorure de lithium. Le produit se présente en longs prismes aplatis, quelquefois terminés par un dôme symétrique. Ce sont des prismes à six pans, dérivés d'un prisme orthorhombique de 120°, 30′.

Application à la géologie. — L'enstatite s'observe : 1° dans des roches éruptives, à l'état d'élément intégrant (lherzolithes, nodules des basaltes), 2° dans des roches métamorphiques, 3° dans des druses de roches volcaniques, 4° dans un grand nombre de météorites.

Les expériences de M. Daubrée et les nôtres expliquent la présence de ce minéral dans les roches éruptives d'origine ignée et dans les météorites.

WOLLASTONITE (CaO, SiO^2).

1868. Lechartier. — **1881.** Bourgeois.

Ce minéral a été renconté souvent, reproduit accidentellement, dans les scories et laitiers des hauts fourneaux. On l'a signalé notamment à Jennbach en Tyrol, Olsberg en Westphalie, Tannendorf près Cumlbach, Gammelbola dans le Westmoreland, etc.

Les cristaux observés présentent les faces du prisme, combinées avec celle de la pyramide ; $a^1/a^1 = 131°$. L'angle

1. Hautefeuille et Margottet, *C. r.*, t. XCIII, 1881, p. 686.

trouvé pour les faces du prisme est de 87°; cependant **Gurtl**[1] rapporte que, dans les échantillons de Gammelbola, l'angle du prisme est de 134° comme dans l'amphibole.

On y a signalé un clivage parallèle à *p*. La dureté, le poids spécifique, sont ceux de la wollastonite naturelle.

M. **Vélain** a constaté la présence de cristaux de wollastonite dans les cendres provenant de la combustion des meules de graminées[2].

La wollastonite a été reproduite par M. **Lechartier**[3], avec ses caractères spécifiques, en fondant un mélange de silice, de chaux et un excès de chlorure de calcium, et lessivant le culot formé après refroidissement. Le poids spécifique des cristaux obtenus est égal à 2,86.

M. **Bourgeois**[4] a obtenu le bisilicate de chaux cristallisé en fondant dans un creuset de platine, avec notre dispositif n° 2, un mélange en proportion convenable de silice et de carbonate de chaux. Le recuit, de 48 heures, a lieu avec le dispositif n° 3 : il se produit facilement une cristallisation de prise en masse, qui ressemble aux nodules à wollastonite de Santorin. Les plus grands cristaux à sections grossièrement rectangulaires s'éteignent généralement suivant les côtés et mesurent jusqu'à 1 mm. de long. Les couleurs de polarisation sont vives; l'acide chlorhydrique attaque ces cristaux avec production de gelée.

Un fait remarquable peut être observé en lumière convergente : les axes optiques sont très rapprochés, beaucoup plus que dans la wollastonite naturelle étudiée optiquement jusqu'à présent. On voit une croix noire qui se disloque à peine.

1. Gürtl, *Kunst. Mineralien*, p. 69.
2. Vélain, *Bull. Soc. min.*, 1878, p. 113.
3. Lechartier, *C. r.*, t. LXVII, 1868, p. 41.
4. Bourgeois, *Bull. Soc. min.*, 1882, p. 13.

M. Bourgeois a également obtenu le même silicate en plongeant un fragment de marbre, d'environ 1 centim. cube, dans du basalte fondu et faisant recuire pendant 48 heures.

Un bisilicate de strontiane, obtenu dans les mêmes conditions, a présenté les mêmes propriétés.

La reproduction de la wollastonite par l'action du chlorure de silicium au rouge sur la chaux demeure jusqu'à présent incertaine. D'après Henri Sainte-Claire Deville, le produit obtenu différerait de ce minéral par sa composition.

Application à la géologie. — L'action d'un silicate en fusion sur les nodules de chaux explique la wollastonite des nodules calcaires englobés dans les laves. Mais on connaît la wollastonite dans des gisements métamorphiques et filoniens, où sa production n'a pu avoir lieu sous de telles influences; dans le dernier cas, elle se montre associée au grenat, au pyroxène, au sphène, à la scapolite, à l'apatite.

Dans les nodules volcaniques, la wollastonite est associée au grenat mélanite, à la fassaïte.

RHODONITE (MnO, SiO^2).

Ce bisilicate de manganèse, analogue au pyroxène, a été trouvé accidentellement par **Wieser** dans la sole du haut fourneau de Plons. Les cristaux recueillis constituaient des prismes tricliniques basés, avec la modification h^1, et des clivages faciles suivant les faces *m* et *t*.

M. Bourgeois vient de reproduire ce corps par simple fusion de ses éléments et refroidissement rapide.

ZIRCON (ZrO^2, SiO^2).

1858. Henri Sainte-Claire Deville et Caron.

Henri Sainte-Claire Deville et **Caron**[1] ont reproduit artificiellement le zircon, en faisant passer à haute température un courant de fluorure de silicium sur de la zircone, ou encore en faisant réagir dans les mêmes conditions le fluorure de zirconium sur la silice. Si, dans un tube, on introduit des couches alternatives de zircone et de silice, une quantité limitée de fluorure de silicium passant à haute température sur ces matières transforme le tout en zircon.

Les cristaux obtenus offrent les formes du zircon naturel; ils se présentent comme ceux de la Somma en octaèdres à base carrée; $b^1/b^1 = 123° 20'$ sur a^2.

Le zircon artificiel est inattaquable par l'acide sulfurique concentré et par la potasse fondue. Pour l'attaquer, il faut employer le bisulfate de potasse.

Application à la géologie. — Le zircon naturel s'observe : 1° dans les roches métamorphiques; 2° dans les roches éruptives granitoïdes: 3° dans les roches trachytoïdes.

Les roches métamorphiques à zircon sont : les amphibolites des gneiss, les phyllades, les schistes micacés et ardoisiers, les calcaires cristallins. Il y est principalement accompagné de rutile, de tourmaline, d'andalousite, etc.

Les roches éruptives granitoïdes à zircon sont la syénite éléolithique, la granulite, les filons de pegmatite à apatite, etc.

1. Henri Sainte-Claire Deville et Caron, *C. r.*, t. XLVI, 1858, p. 754.

Les roches zirconifères trachytoïdes sont les trachytes, les andésites, les basaltes, les leucitites et leucotéphrites. Il est douteux que ce minéral y provienne jamais d'une cristallisation par voie sèche. Ou il est arraché aux roches anciennes, ou il semble un produit de sublimation.

L'expérience s'accorde avec l'observation pour montrer que, dans tous les cas, le fluor a pu servir de minéralisateur au zircon.

III. (γ). SILICO-ALUMINATES ANHYDRES

SILICATES D'ALUMINE.

Essais divers. 1854. Daubrée. — **1858.** Henri Sainte-Claire Deville. — **1877.** Frémy et Feil. — **1880.** Stanislas Meunier.

M. Daubrée [1], en faisant agir le chlorure de silicium sur l'alumine chauffée au rouge, a pensé que l'on pouvait obtenir du **disthène**. Mais **Henri Sainte-Claire Deville** [2], en répétant cette expérience, a obtenu un silicate d'alumine contenant :

Silice	43,2
Alumine	56,8

tandis que le disthène naturel est composé de

Silice	37,7
Alumine	62,3

Un autre silicate d'alumine, remarquable par sa belle cristallisation et par ses propriétés optiques voisines de celles de la **sillimanite**, a été obtenu par **Henri Sainte-Claire Deville** et **Caron** [3], 1° en faisant agir à haute température le fluorure d'aluminium sur la silice, 2° en décomposant dans les mêmes conditions le fluorure de

1. Daubrée, *C. r.*, t. XXXIX, 1854, p. 135.
2. Henri Sainte-Claire Deville, *C. r.*, t. XLVI, 1858, p. 764.
3. Deville et Caron, *C. r.*, t. XLVI et LII, p. 780. — *L'Institut*, 1858, p. 133.

silicium par l'alumine. Les deux réactions peuvent être mises simultanément en œuvre dans le même appareil; il suffit en effet de disposer, dans un tube chauffé au rouge, une série de couches alternatives d'alumine et de silice et d'y faire pénétrer un courant de fluorure de silicium, pour transformer entièrement en silicate d'alumine toute la matière renfermée dans le tube.

Ce silicate cristallise en prisme rhomboïdal droit et ses propriétés optiques sont conformes à celles des minéraux du système orthorhombique. Sa composition est la suivante :

Silice	29,1
Alumine	70,9

Il ne contient pas trace de fluor.

Henri Sainte-Claire Deville et Caron ont décrit ce produit sous le nom de staurolithe et reconnu qu'il était différent de la staurotide naturelle, minéral riche en fer qu'ils ont vainement essayé de reproduire par le procédé ci-dessus décrit, modifié seulement par l'addition d'oxyde de fer à l'alumine.

MM. **Frémy** et **Feil**[1] ont obtenu un autre silicate d'alumine cristallisé, également différent du disthène, en chauffant au rouge pendant plusieurs heures un mélange de fluorure d'aluminium et de silice. Ce corps constitue des prismes très allongés, à sections graduellement décroissantes, basés, très biréfringents, à extinctions longitudinales. Sa composition est la suivante ($Al^2 O^3$, $Si O^2$) :

Silice	47,9
Alumine	52,1

En modifiant légèrement le procédé proposé par

1. Frémy et Feil, *C. r.*, t. LXXXV, 1877, p. 1029.

M. Daubrée, M. **Stanislas Meunier**[1] a produit un silicate d'alumine contenant :

Silice	40,91
Alumine	58,02

Son procédé consiste à faire passer du chlorure de silicium et de la vapeur d'eau sur de l'aluminium chauffé au rouge. Il se forme, dans ces conditions, un agrégat agissant peu sur la lumière polarisée. Il est difficile de se rendre compte de la forme de ce produit.

Application à la géologie. — Les silicates d'alumine, andalousite, disthène, staurotide, appartiennent exclusivement aux roches métamorphiques. Bien que, jusqu'à présent, on n'ait obtenu par voie synthétique aucun silicate d'alumine identique aux minéraux naturels, néanmoins l'action minéralisatrice de l'acide fluorhydrique, signalée par Henri Sainte-Claire Deville et Caron, peut être retenue comme fournissant une indication du procédé naturel.

TOPAZE.

Essais divers. — M. **Daubrée**[2] a essayé de reproduire la topaze en soumettant l'alumine chauffée au rouge à l'action d'un courant de fluorure de silicium. Dans ces conditions, la matière employée augmente notablement de poids et du fluor entre dans sa composition. Le produit

1. Stan. Meunier, *C. r.*, 1880, t. XL, p. 1009.
2. Daubrée, *C. r.*, t. XXXII, 1851, p. 625, et *Géologie expérimentale*, p. 57.

obtenu est inattaquable par l'acide sulfurique concentré; mais il dégage de l'acide fluorhydrique, quand on le traite par l'acide sulfurique après l'avoir attaqué par la potasse. L'analyse a donné :

Alumine	53,99
Silice	38,11
Fluor	6,32

Le poids spécifique est égal à 3,47. La forme et les propriétés optiques n'ont pas été déterminées par M. Daubrée.

Henri Sainte-Claire Deville[1] a répété la même expérience et montré que le produit obtenu ne possédait ni les propriétés cristallographiques de la topaze, ni sa composition. Il a rappelé en outre que la topaze se détruit sous l'influence de la chaleur, même en présence du fluorure de silicium.

Application à la géologie. — Malgré ces expériences négatives, et bien que la topaze se décompose au rouge sombre, son association fréquente avec les minéraux du cortège de la granulite appelle de nouvelles expériences synthétiques à l'aide des chlorures ou des fluorures volatils.

TOURMALINE.

Essais divers. — La tourmaline n'a pas été, jusqu'à présent, reproduite artificiellement. L'action[2] du fluorure de silicium au rouge sur les bases de la tourmaline na-

1. Henri Sainte-Claire Deville, *C. r.*, t. XXXII, p. 625, 1851, et t. LII, 1861, p. 780.
2. Daubrée, *C. r.*, t. XXXIX, 1855, p. 135.

turelle, avec excès de chaux et de magnésie, ne paraît pas conduire à un résultat incontesté. **Henri Sainte-Claire Deville** a constaté en effet qu'à cette température la tourmaline naturelle perd une partie de ses éléments intégrants.

Application à la géologie. — Malgré ces expériences négatives, l'association si fréquente de la tourmaline avec les minéraux qui constituent le cortège habituel des granulites appelle de nouvelles expériences soit à l'aide des chlorures, soit à l'aide des fluorures volatils.

ÉMERAUDE ($3\,GlO,\ Al^2O^3,\ 6\,SiO^2$).

1848. Ebelmen.

Ebelmen [1] a reproduit artificiellement ce minéral en soumettant à l'action d'une très haute température des mélanges en proportions diverses d'acide borique et d'émeraude naturelle pulvérisée, avec ou sans addition d'une minime quantité d'oxyde de chrome.

Dans l'une de ses expériences, Ebelmen a obtenu un culot recouvert d'un grand nombre de petits cristaux hexagonaux. Dans une autre, le culot formé contenait des druses tapissees de cristaux hexagonaux colorés en vert par l'oxyde de chrome.

Henri Sainte-Claire Deville [2] a démontré que l'action du chlorure de silicium sur la glucine et l'alumine à haute température ne donne ni la phénakite, ni l'euclase, ni l'émeraude.

1. Ebelmen, *Ann. de ph. et ch.*, t. XXII, 1848, p. 211.
2. Henri Sainte-Claire Deville, *C. r.*, 1861, t. LII, p. 780.

L'action du florure de silicium sur la glucine donne naissance à un silicate de glucine cristallisé, dont la composition ($6\,GlO, 5\,SiO^2$) diffère de celle des produits naturels connus jusqu'à présent.

IDOCRASE.

Essais divers. — **Mitscherlich** a recueilli, dans le laitier du haut fourneau de Hördes[1], une matière cristalline qu'il a analysée et à laquelle il a trouvé la composition de l'idocrase. Il a annoncé aussi qu'il avait reproduit l'idocrase par voie de fusion; mais il est probable que le produit décrit par lui dans chacun de ces deux cas est un autre minéral. Le fait ne semble même pas douteux pour les cristaux du laitier de Hördes.

La même erreur a été commise par Percy et Miller.

M. Des Cloizeaux[2] a fondu l'idocrase verte d'Ala dans les fours à porcelaine de Sèvres. Le produit cristallin obtenu paraît composé d'anorthite et de pyroxène (voir page 123).

GRENAT MÉLANITE [$(3\,CaO + R^2O^3)\,3\,SiO^2$].

1808. Klapproth. — **1827.** Von Kobell. — **1835.** Mitscherlich. — **1878.** Fouqué et Michel Lévy.

Klapproth[3] a reproduit artificiellement le grenat mélanite par fusion de l'idocrase naturelle.

1. Mitscherlich, *Zeitsch. der deuts. Geolog. Ges.*, XV, p. 375, 1863.
2. Des Cloizeaux, *Manuel de minéralogie*, 1862, p. 284.
3. Klapproth, *J. ph.*, LII, 1801, p. 322. — *Gehle J.*, 1808, p. 203.

Von Kobell[1] l'a obtenu en fondant le grenat mélanite de Frascati et laissant refroidir lentement le culot.

Dans les deux cas, il se forme une masse scoriacée de couleur foncée, à la surface ou dans les cavités de laquelle on aperçoit des petits cristaux de grenat de nouvelle formation. Ces cristaux sont des octaèdres réguliers, dont les faces sont striées parallèlement à l'une de leurs arêtes, ce qui indique une tendance à la formation du dodécaèdre rhomboïdal. Il est très remarquable de voir ici le grenat cristalliser sous cette forme d'octaèdre, qu'il affecte rarement dans la nature.

Les cristaux en question ont été analysés, leur composition a par conséquent été vérifiée. Leurs autres propriétés physiques concordent du reste avec celles du grenat mélanite naturel. Leur couleur est brune, leur cassure inégale, leur éclat vitreux ou gras; leur dureté est comprise entre celle du feldspath et celle du quartz; leur poids spécifique oscille entre 3,5 et 4,3. Ils sont fusibles en un verre brun, souvent magnétique et facilement attaquable par l'acide chlorhydrique avec production de gelée.

Studer et **Mitscherlich**[2] ont repris ces expériences et confirmé que le grenat se reproduisait par fusion de ses éléments.

M. Des Cloizeaux[3] a fondu dans les fours de Sèvres le mélanite, le grossulaire et l'almandin, soit dans des creusets de porcelaine, soit dans des creusets de platine. Les culots qu'il a obtenus ne paraissent pas contenir de cristaux de grenat et présentent au contraire des minéraux anisotropes (pyroxène, anorthite).

M. Bourgeois, en fondant les éléments du grenat grossulaire et les recuisant à température convenable, a obtenu un mélange cristallisé d'anorthite et de mélilite.

1. Von Kobell, *Kastner. Arch. nat.*, V, 1825, p. 313. — Id., X, 1827, p. 15.
2. Mitscherlich, *N. J. f. Min.* 1835, p. 35.
3. Des Cloizeaux. *Manuel de minéralogie*, 1862, p. 277 et 543.

Ni le chlorure, ni le fluorure de silicium agissant à haute température sur les bases du grenat, ne semblent susceptibles d'engendrer ce minéral.

Nous avons obtenu[1] des cristaux de grenat mélanite associés à la néphéline, par fusion ignée suivie d'un recuit de deux jours, avec le dispositif numéro 4. Ces cristaux sont d'un brun jaunâtre; leurs dimensions sont d'environ $0^{mm},05$. Leurs sections se rapportent à celles du dodécaèdre rhomboïdal. Ils sont isotropes.

Application à la géologie. — Le grenat mélanite se trouve : 1° dans les roches métamorphiques; 2° dans les roches volcaniques; 3° dans les anciens produits de sublimation des volcans.

Nos expériences rendent compte de son gisement dans les roches volcaniques.

GEHLÉNITE [$(3\,RO, R^2O^3)\,2\,SiO^2$].

1881. Bourgeois.

La gehlénite, silicate alumino-calcique, a été rencontrée parmi les substances cristallines observées dans les laitiers des hauts fourneaux. **Percy** l'a recueillie dans le laitier du haut fourneau d'Oldberg et **Hausmann** dans celui de Holzhauser. Les échantillons de cette dernière localité se présentent sous forme de prismes quadratiques, basés, modifiés rarement par une face h^1. Ils sont d'un gris clair, clivables parallèlement à la base, doués d'un éclat gras ou vitreux. Leur poids spécifique est égal à 2,90. Dureté 6.

1. Fouqué et Michel Lévy, *C. r.*, t. LXXXVII, 1878, p. 961.

La gehlénite d'Oldberg, analysée par Percy, est à base de chaux; celle de Holzhauser est principalement sodique (?).

M. **Bourgeois** a reproduit la gehlénite purement calcique par fusion ignée et recuit avec le dispositif n° 2; la cristallisation se produit assez facilement. Il a ainsi obtenu de très petits cristaux ($0^{mm},05$ sur $0^{mm},01$), à formes rectangulaires; les couleurs de polarisation sont vives, les extinctions longitudinales; il n'y a aucune tendance aux formes cristallitiques analogues à celles de la meïonite ou de la néphéline.

MÉLILITE $[(2RO, \frac{1}{3}R^2O^3)^2 3SiO^2]$.

1879. Fouqué et Michel Lévy. — **1881.** Bourgeois.

La mélilite est l'un des minéraux que l'on rencontre le plus souvent cristallisés accidentellement dans les laitiers des hauts fourneaux. Elle a été signalée pour la première fois par **Forbes**. On l'a recueillie en Angleterre, à Russels-hall, Tipton, Dudley, Dowles, Weiks, Penny-Darran, Nanty-Glo; en France à Janon, près Saint-Étienne; en Allemagne, à Königshütte dans la haute Silésie, à Mägdesprung dans le Hartz, à Betting près Lebach.

Elle se présente ordinairement sous formes de prismes basés, modifiés par la troncature h^1; quelquefois on observe en outre les faces a^1 et b^1. Sur plusieurs échantillons des mesures angulaires ont pu être effectuées. Les dimensions de quelques-uns de ces cristaux accidentels atteignent quatre à cinq centimètres. Il existe un clivage

parallèle à *p*. La couleur est verte ou jaune-brunâtre; la cassure écailleuse, inégale; l'éclat gras. Les faces des prismes offrent un striage caractéristique, la dureté est celle du feldspath. Le minéral est fusible en une perle vitreuse, sans changement de couleur et avec faible bouillonnement; il fait gelée avec les acides.

Un grand nombre d'échantillons de mélilite des laitiers ont été attribués à d'autres minéraux tels que l'idocrase, la gehlénite, etc.

Nous avons obtenu artificiellement[1] la mélilite par fusion et recuit d'un mélange convenable.

Il se produit des prismes à base carrée, atteignant jusqu'à $2^{mm},80$ de longueur; leur couleur est d'un brun-jaunâtre; les zones d'accroissement sont nettement marquées; en lumière convergente, ils présentent les caractères des cristaux à un axe négatifs. Leur examen en plaque mince les montre associés à des lamelles hexagonales rouge vif de fer oligiste.

M. Bourgeois a récemment vérifié nos résultats et constaté qu'une petite quantité de soude favorise la cristallisation.

MICA NOIR.

Essais divers. — Ce minéral est indiqué comme ayant été quelquefois reproduit accidentellement dans les laitiers de hauts fourneaux. **Mitscherlich** l'a trouvé dans le laitier du haut fourneau de Garpenberg en Dalécarlie[2]. Il s'y présente sous la forme de feuillets minces tapis-

1. Fouqué et Michel Lévy, *Bull. Soc. minéral.*, [illegible]
2. Mitscherlich, *Ac. des sc. de Berlin*, 1822, p. 36.

sant des cavités drusiques. Ces feuillets sont très développés; quelques-uns sont larges de plusieurs centimètres. Leur poids spécifique est égal à 2,85. Ils se clivent aisément à la façon du mica naturel. Il est à remarquer que ce mica contient plus de chaux et moins de potasse que la biolite. Il est évident qu'il n'y a pas identité entre les deux produits.

Leonhard a constaté la présence d'une matière cristalline feuilletée, semblable au mica, dans une scorie provenant de la fusion du lepidolite de Zinnwald[1]. Cette scorie grenue, cristalline, est remplie de feuillets micacés grisâtres.

Forchhammer, en fondant dans un creuset de Hesse les éléments de l'apatite avec du chlorure de sodium[2], a reconnu qu'à la partie supérieure du creuset il s'accumulait, dans le chlorure de sodium fondu, une substance d'apparence micacée dont il a fait l'analyse et dans laquelle il a trouvé silice, alumine, oxyde de fer, magnésie, potasse et fluor.

Le chlorure de silicium, réagissant sur des bases, ne paraît pas donner naissance au mica noir[3]. Il en est de même du fluorure.

En résumé le mica noir n'a pas été reproduit artificiellement jusqu'à présent.

Nous avons fondu et recuit avec le dispositif n° 3 un mélange représentant la composition de la biotite :

Silice	2,050
Alumine	0,900
Sesquioxyde de fer	0,550
Magnésie	0,950
Carbonate de potasse	0,728

Il s'est produit un minéral brun, sensiblement poly-

1. Leonhard, *Jahrb. f. Min.*, 1854, p. 129.
2. Forchhammer, *Ann. Ch. und. Phy.*, t. XC. p. 326.
3. Daubrée.

chroïque, à extinctions longitudinales entre les nicols croisés, présentant dans la lumière convergente les caractères des cristaux à deux axes. Ses formes offrent une disposition en barbe de plume.

FELDSPATHS.

Reproduction des types naturels. — Orthose. 1877. HAUTEFEUILLE. — **1879.** FRIEDEL ET SARASIN. — **1880.** HAUTEFEUILLE. — **Albite. 1877.** HAUTEFEUILLE. — **Oligoclase. 1878.** F. FOUQUÉ ET A. MICHEL LÉVY. — **Labrador. 1878.** F. FOUQUÉ ET A. MICHEL LÉVY. — **Anorthite. 1878.** F. FOUQUÉ ET A. MICHEL LÉVY.
Production de types nouveaux. — Oligoclases de soude et de potasse. 1877. HAUTEFEUILLE. — **Oligoclase de soude et de baryte, strontiane ou plomb. 1880.** F FOUQUÉ ET A. MICHEL LÉVY. — **Labrador. 1880.** F. FOUQUÉ ET A. MICHEL LÉVY. — **Anorthite. 1880.** F. FOUQUÉ ET A. MICHEL LÉVY.
Essais divers. 1855. DAUBRÉE. — **1878** et **1880.** STANISLAS MEUNIER.

Les feldspaths sont les plus importants de tous les minéraux qui entrent dans la constitution des roches éruptives; aussi leur reproduction artificielle a-t-elle été l'objet de tentatives nombreuses. Cependant, jusqu'en ces derniers temps, les insuccès avaient été tels que l'on eût cru volontiers l'expérience inutile, si, dans les fourneaux de l'industrie, on n'avait de temps à autre constaté la formation accidenlelle de l'un des minéraux de cette famille. Sous l'impression de ce découragement général, Leonhard écrivait, en 1858[1], les lignes qui suivent: « Les chimistes n'ont pu réussir à reproduire le feldspath. « En vain, Mitscherlich si exercé dans ce genre d'opéra- « tions a essayé d'obtenir des cristaux de feldspath (à « diverses reprises), soit par la fusion du minéral pur, « soit par celle de ses éléments, toujours il a obtenu des

1. Leonhard, *Hütten-erzeugnisse*. Stuttgart, 1858, p. 213.

« masses vitreuses, sans aucune trace de structure cris-
« talline. Plusieurs livres de matière ont été fondues
« sans succès dans des fourneaux à vent et refroidies
« lentement. Des essais faits dans les fourneaux à zinc de
« Silésie n'ont pas donné non plus le résultat désiré... »

« Les minéraux contenant de l'alumine et de la potasse,
« dit Mitscherlich, ne se laissent pas reproduire sous
« forme cristalline. Avant de fondre, ils passent de l'état
« solide à l'état visqueux, comme le ferait un verre. »

Des opinions négatives, comme celles que nous venons de citer, exprimées par les chimistes et les minéralogistes les plus compétents, ont, pendant plus d'un demi-siècle, inspiré aux géologues des idées erronées sur la genèse des roches éruptives massives. Toutefois, durant cette période, plus on doutait de la possibilité de reproduire artificiellement les feldspaths, plus on attachait d'intérêt aux reproductions accidentelles qui s'observaient de temps en temps. Rappelons quelques-uns de ces cas fortuits :

L'*orthose*, reproduit accidentellement, a été observé pour la première fois en 1810 par **Haussmann**, dans un four à zinc du Mansfeld[1]. Il était en cristaux d'un bleu violacé clair, associé à du sulfure de zinc noirâtre, et tapissait la paroi d'une cavité drusique.

En 1834, **Freiesleben** en recueille de très beaux échantillons dans le fourneau à cuivre de Sangershausen[2]. **Heine** étudie la forme cristalline et fait l'analyse chimique de ces produits. **Zimmermann, Kersten, Breithaupt** viennent successivement confirmer la détermination faite.

D'après les descriptions qu'ils nous ont laissées, nous savons que les cristaux en question se voyaient dans les fentes des blocs de grès, formant les parois du four, ou

1. Haussmann. *Norddeutsche Beiträge zur Berg und Hüttenkunde*, 4e partie, p. 86.
2. Karsten, *Archiv für Miner.*, t. VIII, p. 225. — *Jahrb. für Min.*, 1835, p. 31. — *Jahrb. für Min.*, 1836, p. 47.

dans de petites cavités dues à l'éclatement du quartz, et qu'ils reposaient sur une mince couche de silicates fondus. Quelques cristaux étaient implantés sur un dépôt de charbon graphiteux. Ces échantillons sont doués d'une demi-transparence, ils ont un éclat nacré, possèdent les clivages normaux de l'orthose. Les faces p, g^1, m, sont nettes et brillantes ; les angles mesurés sont ceux du feldspath monoclinique naturel. La dureté est normale. Le poids spécifique trouvé est égal à 2,55.

L'analyse a donné pour la composition du minéral :

Silice	64,5
Alumine	19,2
Protoxyde de fer	1,2
Chaux	1,3
Oxyde de cuivre	0 3
Alcalis dosés par différence	13,5

En 1845, à Josephshütte près Stolberg, on a recueilli[1], sur les parois d'un haut fourneau, des cristaux d'orthose translucides, à éclat vitreux, possédant les clivages normaux du feldspath monoclinique et présentant ses trois macles principales (Carlsbad, albite et Baveno). Les faces p, g^1, m, a^1 ont été reconnues et leurs angles déterminés.

L'orthose a encore été trouvé accidentellement reproduit sur les parois du haut fourneau de Kreuzhütte près Laimbach. **Rammelsberg**, qui a fait l'analyse de ces échantillons, leur a trouvé la composition suivante :

Silice	64,5
Alumine	20,0
Chaux	0,5
Potasse	12,5
Soude	0,65
Magnésie	0,54

Enfin, nous citerons encore la découverte de l'orthose[2]

1. Haussmann fils, *Beiträge*, l. c., 44.
2. Zincken, *Bergwerksfreund*, t. X, p. 15.

dans le haut fourneau de Rottleberodo (cercle de Magdebourg) où l'on fondait un minerai de Stolberg. Il est à remarquer que, dans tous ces exemples de reproduction accidentelle de feldspath, il s'agit toujours de l'orthose.

Le seul feldspath triclinique, signalé comme accidentellement reproduit, est l'*anorthite*. M. **Vélain**[1] a constaté sa présence dans les verres résultant de la fusion des meules de paille, et M. **Mallard**[2] l'a trouvé associé à l'augite et à la rhabdite dans les produits de combustion des houillères de Commentry et de Cransac. Ces cristaux sont en aiguilles entre-croisées ou en lames à contours irréguliers. Les aiguilles sont séparées en deux par un plan d'hémitropie, de part et d'autre duquel les extinctions se font très obliquement. En outre, cet anorthite constitue, dans les géodes de la roche, des petits cristaux lamellaires, aplatis suivant g^1 et présentant en profil les arêtes pg^1, a^1g^1 et h^1g^1.

MM. Rammelsberg et Von Lang ont signalé des cristaux semblables d'anorthite dans les cavités de la météorite de Juvinas.

En fondant le mélanite de Frascati et l'idocrase verte d'Ala dans des godets de porcelaine, au grand feu des fours de Sèvres, M. **Des Cloizeaux**[3] a obtenu des cristaux anisotropes et jeté un doute sur les expériences de Klapproth et de Von Kobell. D'après les descriptions données par M. Des Cloizeaux, les cristaux ainsi obtenus sont tricliniques, difficilement fusibles sur les bords, attaquables aux acides. Ceux qui proviennent de la fusion du mélanite sont des lamelles aplaties, composées, d'après le savant minéralogiste, de deux faces miroitantes plus larges, et de deux plus étroites, faisant entre elles des angles de 93°,40′ et de 86°,20. « Les lames transparentes

1. Vélain. *Bull. Soc. min.* 1878, p. 113.
2. Mallard, *Bull. Soc. min.* 1881, p. 230.
3. Des Cloizeaux, *Manuel de minéral.*, 1862, p. 277 et 284.

« et incolores, ou translucides et brunâtres, possèdent « deux axes optiques, situés dans un plan coupant les « arêtes du prisme sous un angle d'environ 28°, avec une « bissectrice fortement inclinée sur les faces les plus lar- « ges. » M. Des Cloizeaux ayant bien voulu nous confier l'examen de ses produits, nous avons pu reconnaître que les cristaux, précédemment décrits, appartiennent à l'anorthite ; ils présentent souvent un plan d'hémitropie parallèle à la face d'aplatissement et s'éteignent sous des angles généralement très grands de part et d'autre de la ligne de macle. Leur forme rappelle absolument les petits cristaux d'anorthite de la météorite de Juvinas. Les faces les plus développées sont g^1 et ensuite p. On remarquera que l'angle pg^1 de l'anorthite, égal à 85°,50′, ne diffère que par quelques minutes de l'angle mesuré par M. Des Cloizeaux ; les données optiques et physiques s'accordent également bien avec l'assimilation que nous proposons ici. Dans l'idocrase fondue, aux microlithes d'anorthite sont associées des arborisations de pyroxène.

Orthose. — C'est seulement en 1877 que l'on est parvenu à obtenir la reproduction artificielle voulue d'un feldspath[1]. Ce résultat inespéré a été atteint par M. **Hautefeuille**[2]. Le procédé qu'il a employé, consiste à chauffer, à une température comprise entre 900 et 1,000 degrés, un mélange d'acide tungstique et d'un silico-aluminate de potasse très alcalin. Il se forme d'abord un mélange d'orthose, d'un silico-aluminate de potasse triclinique et

1. Nous passons exprès sous silence un certain nombre d'exemples de matières feldspathiques mal déterminées, recueillies sur les parois des fourneaux de l'industrie. Il nous est impossible, par exemple, de considérer comme feldspath, la matière cristalline trouvée dans les parois du haut fourneau de Veckerhagen, cette matière possédant à la fois la teneur en silice de l'orthose et la teneur en chaux de l'anorthite. La fusibilité et le poids spécifique sont également anormaux.

2. Hautefeuille, *Comptes rendus*, 1877, t. LXXXV, p. 952.

de tridymite ; mais, si l'on a soin de constituer le silico-aluminate employé de telle sorte qu'il renferme un équivalent d'alumine pour 6 de silice, la tridymite et le silico-aluminate disparaissent, et, au bout de vingt jours de chauffe, l'orthose reste seul dans un excès de tungstate de potasse fondu. On laisse refroidir le mélange et on traite le culot résultant par l'eau bouillante, afin de dissoudre le tungstate acide employé en excès. Il reste des cristaux d'orthose, dont l'auteur a pu déterminer la forme, la composition et les propriétés physiques.

L'opération réussit également quand on agit sur un mélange de silice, d'alumine et de tungstate acide de potasse.

Les cristaux recueillis sont inattaquables à l'acide chlorhydrique. Ils possèdent la forme caractéristique de l'orthose; les faces p, m, a^1 sont nettes; leurs angles ont pu être mesurés. Le poids spécifique est égal à 2,55. Le clivage parallèle à p est très marqué; les macles sont rares.

En opérant un peu au-dessus de 1,000 degrés, température *maxima* à laquelle l'opération puisse réussir, les cristaux se présentent sous forme de prismes à quatre pans, terminés par un pointement cunéiforme, p, a^1, dont l'arête est parallèle à l'orthodiagonale.

Les cristaux, obtenus à 900°, sont plus allongés; la face a^1 est petite et striée. Quelquefois on observe des faces $b^{1/8}$, striées parallèlement à p et formant un biseau très aigu. Ces faces n'existent pas dans les cristaux naturels. La distribution des axes optiques est celle qui s'observe dans l'orthose naturel déformé. La composition indiquée par l'analyse est sensiblement la composition normale :

Silice	64,77
Alumine	18,69
Potasse	15,07
Soude	0,73

Il est à remarquer que la soude fait réellement partie

de la composition du minéral, le microscope ne décelant la présence d'aucun feldspath triclinique dans la matière analysée.

M. Hautefeuille a reproduit[1] un mélange d'orthose et de tridymite, en fondant les éléments de ces minéraux dans le phosphate de soude ou dans le phosphate de potasse. Avec addition d'une substance fluorée, la cristallisation s'opère à plus basse température; il se fait une association de quartz et d'orthose. L'orthose présente les formes de l'adulaire; il est maclé suivant la loi de Carlsbad. Le quartz montre les faces e^2, p, $e^{1/2}$. Quelques cristaux d'orthose, observés à la surface des vacuoles, rappellent ceux de Sangershausen. M. Hautefeuille attribue leur formation à ce qu'à 800° les fluophosphates alcalins, entraînés par les gaz, attaquent les parois siliceuses du creuset et semblent ainsi, par volatilisation, engendrer simultanément l'orthose et le quartz.

Pour contrôler cette opinion, M. Hautefeuille dispose dans un tube de verre un mélange de phosphate acide de potasse, de silice, d'alumine fondus ensemble, avec un dixième de fluosilicate de potasse et quelques fragments de porcelaine. On fait le vide dans le tube et on le chauffe à 700°. A cette température, il s'aplatit; on brise la pointe effilée; il se fait un dégagement lent de fluorure de silicium et il se forme des cristaux d'orthose sur les fragments de porcelaine et sur le tube.

Nous avons déjà parlé, page 32, des expériences de **MM. Friedel** et **Sarasin**[2], qui ont obtenu l'orthose par voie humide, en faisant réagir, sous pression, un mélange de silicate de potasse, de silicate d'alumine et d'eau. Voici les détails de leur expérience : le silicate d'alumine s'obtient en précipitant le chlorure d'aluminium par le silicate de potasse en dissolution. Après lavage, le préci-

1. Hautefeuille, *C. r.*, t. XC, 1880, p. 830.
2. Friedel et Sarasin, *B. Soc. min.*, 1879, p. 158, et 1881, p. 171.

pité est additionné de silicate de potasse et d'un peu de potasse caustique, et introduit dans un tube de fer doublé de platine, hermétiquement clos. On chauffe trente-six heures au rouge sombre; au bout de ce temps, on trouve qu'il s'est formé dans le tube une poudre cristalline qu'on lave à l'eau régale et qu'on achève de purifier par lévigation. La matière se montre au microscope sous la forme de parallélogrammes ou d'hexagones dissymétriques. Elle fond difficilement au chalumeau en un verre bulleux. Elle possède le poids spécifique de l'orthose. Sa composition est la suivante : silice = 70, alumine = 15,6, potasse = 14,4. Au microscope, on voit en outre un peu de quartz mélangé qui explique l'excès de silice. Les angles sont souvent arrondis, et l'angle plan de 140° qui s'observe fréquemment, correspond à l'angle a^1 h^1 de l'orthose. Dans cette expérience, lorsque la température s'élève au delà d'une certaine limite, au lieu de quartz il se produit de la tridymite.

Dans leur dernière série d'expériences, MM. Friedel et Sarasin ont obtenu les formes des trois principales variétés d'orthose naturel : celle de l'adulaire (faces principales p, m, m, également développées) ; celle de l'orthose des granites (face principale g^1, allongée suivant l'arête g^1h^1) ; enfin celle de l'orthose des roches volcaniques (faces principales p et g^1, avec allongement suivant l'arête pg^1).

Sur les cristaux ayant la forme de l'adulaire et posés sur une face m, ils ont trouvé l'angle plan obtus de cette face égal à 104° (adulaire 104° 0′ 46″).

Sur les cristaux du second type, posés sur g^1, l'angle $p\,h^1$ a été trouvé de 116° à 117° (orthose 116° 7′) ; l'angle $p\,a^1$ de 129° à 130° (orthose 129° 40′) ; sur la même face g^1, l'extinction se produit à 22° par rapport à l'arête h^1g^1 et à 4° ou 5°, par rapport à l'arête pg^1, comme dans l'orthose naturel.

Sur les cristaux du troisième type et posés sur une face p, l'angle plan de la base a été trouvé de 113° environ (orthose 113° 15′ 30″).

Les seules macles constatées sont celle de Baveno et la macle suivant p, avec axe de rotation perpendiculaire.

Dans quelques essais, MM. Friedel et Sarasin ont obtenu, avec l'orthose, des échantillons d'un silicate de potasse hydraté orthorhombique, qui présente les faces g^1, p, m, la première dominante. L'angle du prisme est de 105° 8′, le plan des axes est parallèle à h^1, la bissectrice perpendiculaire à g^1; $\rho > \nu$. La substance est difficilement attaquable par l'acide chlorhydrique, et aisément fusible avec boursouflement en un verre blanc.

Albite. — Un procédé analogue à celui qui avait fourni l'orthose à M. **Hautefeuille**, lui a permis également de préparer l'albite. Il emploie à cet effet, soit un mélange d'acide tungstique et d'un silico-aluminate de soude basique, soit la silice et l'alumine en proportions convenables et imprégnées d'une petite quantité de tungstate de soude. La matière est maintenue pendant plusieurs semaines à une température qui ne dépasse pas le rouge sombre; après refroidissement, le culot obtenu est fondu dans le bisulfalte de soude et l'opération s'achève par un lessivage à l'eau bouillante.

Le résidu est une poudre, composée de petits cristaux d'albite, dont l'auteur a déterminé les formes; les faces visibles sont p, g^1, m, t, a^1, $a^{1/2}$. La composition, la densité et les angles mesurables sont identiques à ceux de l'albite naturel. Le clivage p, très marqué, rend les cristaux fragiles. Les macles les plus communes sont celles dites de l'albite et de Carlsbad. L'angle d'extinction sur g^1 est de 15°, à partir de l'arête pg^1. Sur p, l'angle des extinctions de deux lamelles hémitropes est d'environ 10°.

Les phosphates et les vanadates de soude ont égale-

ment donné à M. Hautefeuille le moyen de reproduire l'albite. Les cristaux, obtenus dans les vanadates, sont prismatiques, réunis en nodules fibreux. Ils sont terminés par un pointement surbaissé à quatre faces, et la section est sensiblement hexagonale.

Oligoclase purement sodique et purement potassique. — Dans la préparation de l'albite et de l'orthose, **M. Hautefeuille**[1] signale la production d'un silico-aluminate de soude et d'un silico-aluminate de potasse qui, l'un et l'autre, présentent les rapports d'oxygène caractéristiques de l'oligoclase. La description qu'en donne M. Hautefeuille, l'amène à la conclusion que ces minéraux ne présentent pas les formes ni les propriétés des feldspaths.

Ces corps, d'ailleurs, à haute température sont dépourvus de stabilité; ils se dédoublent : le premier en albite et néphéline, le second en orthose et leucite.

Feldspaths lithiques. — Voir ci-après au chapitre de la leucite.

Essais divers. — En faisant passer du chlorure de silicium à haute température sur un mélange de sept équivalents de potasse ou de soude avec un équivalent d'alumine, ou bien encore, sur le mélange d'un équivalent de soude avec un d'alumine et six de chaux, **M. Daubrée**[2] a obtenu des produits cristallins dont la nature n'a pas été jusqu'à présent déterminée avec certitude. Les expériences, faites par **Henri Sainte-Claire Deville** sur l'action qu'exerce le chlorure de silicium à haute température sur les bases, permettent toutefois de conclure que les produits en question n'appartiennent pas à la famille des feldspaths.

1. Hautefeuille, *Annales de l'École normale supérieure*, t. IX, 1880.
1. Daubrée, *C. r.*, t. XXXIX, 1854, p. 135.

M. **Stanislas Meunier**[1] a annoncé qu'il avait obtenu l'orthose, en fondant et recuisant pendant plusieurs jours des roches vitreuses naturelles; son produit se présente sous l'apparence de noyaux cristallins, agissant énergiquement sur la lumière polarisée et fournissant à l'analyse chimique des résultats voisins de ceux que donne l'orthose. Nos propres expériences[2] tendent à démontrer que l'orthose ne se produit pas dans de pareilles conditions.

En faisant agir à haute température du chlorure de silicium sur du fil d'aluminium imprégné de potasse caustique, M. Stanislas Meunier[3] annonce qu'outre la leucite il a obtenu quelques prismes maclés, qu'il considère comme de l'orthose. La détermination de ce produit est insuffisante.

Fusion ignée sans fondant. — Anorthite. — Nous avons obtenu[4] l'anorthite, en fondant un mélange chimique offrant la composition de ce minéral et soumettant la matière à un recuit de quelques jours avec le dispositif n° 2 (voir page 48). La température des fours de verrerie pour instruments d'optique convient au recuit de la matière vitreuse qui fournit l'anorthite, et permet d'en obtenir des culots volumineux; elle est trop élevée pour les autres feldspaths, et, d'autre part, elle est insuffisante pour produire la fusion primordiale des éléments chimiques de l'anorthite.

Le culot que l'on obtient est entièrement cristallin; les cristaux formés sont remarquables par leurs dimensions relativement grandes, la perfection de leurs formes, la netteté de leurs propriétés optiques, la nature et la disposition des inclusions qui y abondent. Les plus nom-

1. Stanislas Meunier, *C. r.*, t. LXXXIII, 1876, p. 616, et t. LXXXVII, 1878, p. 737.
2. Fouqué et Michel Lévy, *C. r.*, t. LXXXVII, 1878, p. 830.
3. Stanislas Meunier, *C. r.*, t. XC, 1880, p. 1009.
4. Fouqué et Michel Lévy, *C. r.*, t. LXXXVII, 1878, p. 700.

breux affectent la forme de microlithes; ce sont des cristaux allongés, ayant jusqu'à 1 millimètre de longueur sur $0^{mm},05$ de largeur, généralement maclés suivant la loi de l'albite, parfois suivant celle de Baveno. D'autres présentent l'apparence de grands cristaux; leurs dimensions moyennes sont de 0^{mm}, 5 sur $0^{mm},2$. Les microlithes sont allongés suivant l'arête pg^1, les grands cristaux sont aplatis suivant g^1. L'extinction des microlithes, dans la zone pg^1, se fait sous des angles qui vont jusqu'à 45 degrés, ce qui concorde avec les données optiques acquises sur l'anorthite. L'arête pg^1 est très éloignée de coïncider avec le plus grand ou le plus petit axe d'élasticité; il en résulte, comme pour l'anorthite naturel, que les microlithes présentent, avec la lame de quartz, des caractères tantôt positifs, tantôt négatifs.

Dans les grands cristaux, les inclusions vitreuses à bulles de gaz sont très fréquentes et affectent les mêmes caractères et les mêmes dimensions moyennes que dans l'anorthite des roches naturelles; tantôt elles sont arrondies, tantôt elles offrent des sections polyédriques, représentant en creux les formes de l'anorthite.

Labrador. — Le labrador artificiel s'obtient[1], comme l'anorthite, par fusion de ses éléments et recuit de quarante-huit heures; le dispositif à préférer est ici le n° 3.

Le culot, entièrement cristallisé, est principalement composé de microlithes, de cinq à dix fois plus longs que larges, et offrant à peu près les dimensions habituelles des microlithes de labrador dans les roches volcaniques.

En général, les cristaux sont très maclés; la macle la plus fréquente est celle de l'albite qui se reproduit souvent plus de vingt fois dans un même individu; on observe aussi la macle de Carlsbad et parfois celle de Baveno.

1. Fouqué et Michel Lévy, *C. r.*, t. LXXXVII, 1878, p. 700.

Les extinctions, dans la zone d'allongement pg^1, oscillent entre 0° et 30°.

Le développement de la face g^1 amène la formation de grands cristaux, qui est d'ailleurs favorisée par un recuit plus prolongé.

Au contraire, une température moins élevée, un recuit insuffisamment prolongé, un refroidissement brusque, favorisent, au voisinage de la surface du culot, le développement de formes sphérolithiques.

Oligoclase[1]. — Le même procédé s'applique à la reproduction de l'oligoclase. Les produits, que l'on obtient, sont analogues à ceux que fournit le labrador. Mais les microlithes sont plus allongés et plus étroits; les macles sont moins multiples. Enfin, les extinctions dans la zone d'allongement pg^1 se font toujours en long, ce qui indique la coïncidence de cette arête avec un axe d'élasticité.

Pour le labrador et l'oligoclase, l'allongement se fait suivant une direction assez voisine du plus grand axe d'élasticité, pour que les microlithes, couchés parallèlement à pg^1, présentent toujours le caractère négatif avec la lame de quartz parallèle.

L'oligoclase a une tendance encore plus marquée que le labrador à se disposer en sphérolithes.

Essais divers. — Albite. — En traitant un mélange ayant la composition de l'albite, nous avons éprouvé une grande difficulté à obtenir des produits cristallins; le plus souvent le culot reste entièrement vitreux. Dans notre première série d'expériences, nous avions cru obtenir des microlithes d'albite, au sein de la matière vitreuse; ils s'éteignent sous un angle de 12° environ, et présentent des teintes très pâles de polarisation; mais ils sont allon-

1. Fouqué et Michel Lévy, *C. r.*, t. LXXXVII, 1878, p. 700.

gés suivant leur plus petit axe d'élasticité et s'éloignent par là des caractères que présenteraient les microlithes naturels d'albite, allongés suivant pg^1. De plus leur extrême ténuité ne permet pas de saisir des indices de macles caractéristiques.

Orthose. — L'orthose sous ses diverses formes (sanidine, adulaire, orthose des roches anciennes et microcline), ou un mélange fondu de ses éléments chimiques ont été traités par nous suivant la méthode précédemment décrite ; plusieurs de nos expériences ont été prolongées pendant huit jours.

Le résultat obtenu a été constamment le même : dans aucun cas nous n'avons obtenu de cristaux nettement définis. Nous avons constaté la production d'une matière à apparence vitreuse, qui donne, entre les nicols croisés, un réseau très fin à mailles rectangulaires, rappelant l'apparence du microcline. Quelles que soient les positions respectives des nicols croisés et de la plaque, le réseau en question est composé de linéaments éclairés à 45° des plans principaux des nicols. Ce réseau est d'autant plus visible que la plaque est plus épaisse.

Plusieurs explications peuvent être proposées pour rendre compte de ce phénomène optique.

1° On peut supposer qu'on a affaire à des globules de verre comprimé juxtaposés, ou à des sphérolithes cristallins à croix noire. Mais d'une part on voit toujours, à la lumière naturelle, de fines stries disposées en réseaux rectangulaires ; d'autre part, les croix noires tourneraient, quand on fait varier la position d'un des nicols, ce qui n'a pas lieu.

2° On est donc amené à supposer un réseau de fins cristaux s'éteignant suivant leur longueur et par conséquent doués d'un maximum d'éclat à 45° des plans principaux des nicols.

Mais cette première condition nécessaire n'est pas suffisante ; car, si ces cristaux se superposaient en grand nombre dans toutes les directions, il en résulterait une teinte à peu près uniforme et constante entre les nicols croisés.

Il faut donc ou leur supposer un arrangement régulier, ou admettre qu'ils ne se superposent pas et que chacun d'eux occupe toute l'épaisseur de la prépation.

Dans le premier cas, il faut supposer des cristaux disposés en réseaux rectangulaires d'orientation variable avec le point considéré et superposés en petit nombre.

Dans le second cas, on peut considérer l'orthose ou un autre minéral (tridymite?), comme ayant cristallisé en petites lamelles aplaties et enchevêtrées dans un désordre absolu. Celles de ces lamelles qui ne se montrent pas suivant leur tranche, sont invisibles entre les nicols croisés, par suite même de leur minceur ; quant aux autres, elles sont assez étendues pour traverser toute la préparation. Or la zone perpendiculaire à g^1 jouit précisément dans l'orthose de la propriété de présenter un maximum d'éclat à 45° ; par conséquent les lamelles, affectant cette orientation, seront à peu près les seules visibles.

En fait, nous sommes portés à penser que les deux explications proposées s'appliquent simultanément aux diverses parties d'une même préparation.

Il résulte de nos expériences que l'orthose et l'albite ne se reproduisent pas avec la même facilité que les autres feldspaths, par voie ignée. En général nous avons constaté qu'un feldspath est d'autant plus facile à faire cristalliser par voie ignée, qu'il est plus basique.

Feldspaths intermédiaires entre l'albite et l'anorthite. — Les mélanges qui nous ont réussi pour l'oligoclase et le

labrador, contiennent la soude et la chaux précisément dans les proportions conformes à la théorie de M. Tschermak, qui considère ces deux minéraux comme formés d'un mélange isomorphe d'albite et d'anorthite. Cette théorie ayant paru dans les derniers temps recevoir une nouvelle confirmation par les observations de M. Max Schuster[1], nous avons cru devoir profiter de la facilité avec laquelle nous reproduisons artificiellement les microlithes feldspathiques, pour tenter d'obtenir les types intermédiaires prévus par la théorie en question. Voici le résumé de nos observations, comparées avec les données optiques qui résultent du travail de M. Max Schuster.

I. Mélange 1 : 3 : 12 = Ab. Culot vitreux[2].

II. Mélange 1 : 3 : 11 = $Ab_{14}An_1$. Après un mois de recuit, le culot n'est cristallin que dans le voisinage de ses bords, et les microlithes, qu'il renferme, s'éteignent rigoureusement en long; c'est de l'oligoclase, caractérisé d'ailleurs par ses macles et allongé suivant l'axe de plus grande élasticité.

D'après M. Max Schuster, le feldspath 1 : 3 : 11 présenterait dans la zone pg^1 un maximum dépassant 16°.

III. Mélange 1 : 3 : 10 = Ab_6An_1. Après huit jours de recuit, le culot présente environ un tiers de matière amorphe. Les microlithes feldspathiques, bien développés, s'éteignent à 0°; d'après M. Max Schuster, le maximum d'extinction devrait dépasser 11°.

IV. Mélange 1 : 3 : 9 = $Ab_{10}An_3$. Le culot est entièrement cristallisé, les microlithes sont enchevêtrés ou disposés en sphérolithes fibreux; les extinctions se font toujours en long. D'après M. Max Schuster, le maximum doit être voisin de 5°.

V. Mélange 1 : 3 : 8 = $Ab_{12}An_4$. Culot entièrement cris-

1. Max Schuster, *Mineral. und petrog. Mittheilungen*, t. III, 1880, p. 117.
2. Nous avons pris pour équivalents Ab et An de l'albite et de l'anorthite, ceux de MM. Tschermak et Schuster.

tallin. La plupart des microlithes sont fibreux et s'éteignent à 0°. Quelques microlithes plus grands, plus larges, plus nettement maclés, s'éteignent sous des angles atteignant 30°. Maximum de M. Max Schuster voisin de 3°.

VI. Mélange 1 : 3 : 7,2 = Ab_4An_3 Culot entièrement cristallisé ; nombreuses extinctions à 0° ; mais aussi nombreux microlithes très maclés et plus larges, dont les extinctions atteignent fréquemment 30°. D'après M. Max Schuster, maximum voisin de 11°.

VII. Mélange 1 : 3 : 7 = Ab_6An_3. Culot entièrement cristallisé. Microlithes larges, très maclés, bien développés. Maxima fréquents de 30°. Certains sphérolithes fibreux sont composée de microlithes à exinctions longitudinales, mais ils sont rares. D'après M. Max Schuster, le maximum serait voisin de 17°.

VIII. Mélange 1 : 3 : 6 = Ab_2An_3. Culot entièrement cristallisé. Beaux microlithes très maclés. Maxima fréquents à 30°. D'après M. Max Schuster, le maximum pour le labrador serait voisin de 23°.

IX. Mélange 1 : 3 : 5 = Ab_2An_7. Culot entièrement cristallisé. Microlithes bien développés. Le maximum d'extinction atteint souvent 45°. Maximum, d'après M. Max Schuster, dépassant 33°.

Dans tous les mélanges précédents, les microlithes présentaient invariablement un caractère négatif suivant leur allongement. Ici ils sont tantôt positifs et tantôt négatifs ; cependant la plupart sont encore négatifs.

X. Mélange 1 : 3 : 4 = An. Culot entièrement cristallisé. Extinctions très fréquentes à 45° ; les microlithes, sont tantôt positifs, tantôt négatifs. Maximum, d'après M. Max Schuster, dépassant 37°.

Il suffit de jeter un coup d'œil sur cette énumération pour voir que les mélanges de composition intermédiaire n'offrent pas les maxima d'extinctions prévus par la théorie de l'isomorphisme des feldspaths tricliniques.

On saute brusquement, des maxima relatifs à l'oligoclase, à ceux qui appartiennent au labrador. Nous recommandons spécialement à ce point de vue l'examen des mélanges VI et VII. Le passage à l'anorthite se fait aussi brusquement, comme l'indique le mélange IX. Il n'y a donc entre l'albite et l'anorthite que deux feldspaths tricliniques à propriétés optiques constantes, si l'on se borne à considérer les feldspaths en microlithes et de formation ignée. Nous ne considérons pas ici les grands cristaux, pouvant résulter de l'association de ces microlithes différents entre eux.

L'application pratique de ces expériences synthétiques à la pétrographie est trop évidente pour que nous y insistions.

Oligoclase purement calcique. — Nous avons vainement essayé de produire un oligoclase purement calcique; il s'est isolé des microlithes d'anorthite dans un magma vitreux.

Feldspath à base de soude et de baryte, de strontiane ou de plomb. — Nous nous sommes proposé de compléter l'une des séries minéralogiques naturelles les plus importantes : celle des feldspaths à base alcalino-terreuse. L'analogie du rôle que jouent, dans les minéraux, d'une part la chaux, la baryte, la strontiane et le protoxyde de plomb, d'autre part la chaux, la magnésie, les protoxydes de fer, de manganèse et de zinc, a été signalée par Ch. Sainte-Claire Deville et mise en relief par H. Sainte-Claire Deville dans son étude synthétique des apatites et des wagnérites. Il était naturel de penser que la chaux qui entre dans les feldspaths, y figure comme un représentant du premier de ces groupes; nos expériences

1. Fouqué et Michel Lévy, *Bull. Soc. minéral*, 1880, p. 124.

justifient cette manière de voir, en établissant qu'elle peut y être remplacée par la baryte, la strontiane ou le protoxyde de plomb.

Le procédé que nous avons suivi consiste, comme précédemment, à opérer la cristallisation à une température élevée, inférieure au point de fusion, mais voisine de celui-ci. Il fournit des cristaux enchevêtrés, qui ne sont pas susceptibles d'être isolés ; mais il a l'avantage de se rapprocher du moyen le plus fréquemment employé sous nos yeux par la nature pour faire cristalliser les feldspaths tricliniques ; il démontre donc la possibilité, sinon la probabilité, de l'existence à l'état naturel d'une partie de nos produits.

Les mélanges que nous avons soumis à la fusion, consistent en silice, alumine, carbonate de soude avec strontiane, baryte ou oxyde de plomb ; nous les avons mélangés dans les proportions suivantes, rapportées à leurs équivalents :

	Oligoclase	Labrador.	Anorthite.
SiO^2	$4\frac{1}{2}$	3	2
Al^2O^3	1	1	1
NaO,CO^2	$\frac{5}{8}$	$\frac{1}{4}$	0
MO	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{4}$	1

Après quarante-huit heures de chauffe, on obtient des culots entièrement cristallisés, que l'on taille en plaques minces pour l'étude microscopique. Les cristaux s'aperçoivent à la lumière naturelle, mais ils se distinguent mieux encore, entre les nicols croisés ; ils sont allongés à la façon des microlithes feldspathiques et, comme eux, sont susceptibles de se grouper en sphérolithes. L'intensité de la double réfraction est à peu près celle des feldspaths, sauf dans la série plombique, qui se pare de couleurs plus vives.

On sait que la zone d'allongement des microlithes feld-

spathiques est parallèle à l'arête pg^1 et que les extinctions dans cette zone oscillent entre 0° et un maximum, très petit pour l'oligoclase, moyen pour le labrador, très grand pour l'anorthite.

Dans nos produits, les extinctions se font parallèlement au sens de la longueur pour toute la série barytique, pour l'oligoclase et le labrador de strontiane, et pour l'oligoclase de plomb. Un des axes d'élasticité coïncide donc avec la direction de l'allongement.

L'abondance extrême des pointements rectangulaires dans l'anorthite de baryte, jointe à ses extinctions, fait présumer que ce corps est orthorhombique. Quant aux autres produits à extinctions longitudinales, leurs pointements sont trop variables pour permettre de déterminer leur système cristallin.

L'anorthite de strontiane présente des extinctions allant jusqu'à 27°. Le plan des axes optiques est déterminable dans la lumière convergente et sensiblement parallèle à la direction de l'allongement.

Le labrador de plomb se présente en beaux cristaux, certainement tricliniques, dont les extinctions atteignent un maximum de 25° dans les sections sensiblement rectangulaires que nous attribuons, comme dans les feldspaths, à la zone perpendiculaire à g^1.

L'anorthite de plomb est surtout sphérolithique ; l'angle sous-tendu par les branches noires de la croix, entre les nicols croisés, atteint un maximum de 36° ; quelques microlithes isolés s'éteignent également sous des angles assez considérables.

Tous ces corps sont dépourvus de la macle de l'albite, caractéristique des feldspaths tricliniques. Cependant on les observe souvent en cristaux accolés longitudinalement à extinction simultanée ; ils offrent aussi une macle en croix, analogue à celle de Baveno.

Tous rayent facilement le verre. Sauf les oligoclases de

Nos expériences rendent compte de la présence de l'oligoclase, du labrador et de l'anorthite dans les roches éruptives d'origine ignée et dans les météorites. Celles de MM. Friedel et Sarasin peuvent expliquer l'orthose des roches éruptives anciennes, celui des roches métamorphiques et celui des filons concrétionnés.

LEUCITE ($KO, Al^2O^3, 4SiO^2$).

Leucite. 1878. F. Fouqué et Michel Lévy. — 1880. Hautefeuille. — **Leucite ferrifère.** 1880. Hautefeuille. — **Silico-Aluminates de lithine.** 1880. — Hautefeuille. — **Essais divers.** 1880. Stanislas Meunier.

Leucite. — M. **Hautefeuille**[1] a reproduit la leucite en fondant un mélange de silice, d'aluminate et de vanadate de potasse; il convient d'employer une forte proportion d'alumine. L'opération se fait entre 800 et 900° et dure vingt-cinq jours.

Il se fait des cristaux qui grossissent peu à peu, tout en demeurant accolés les uns aux autres et formant des druses ramifiées sur les parois du creuset. Quelques cristaux sont également développés dans tous les sens; d'autres sont allongés suivant l'un des axes de symétrie quaternaire du pseudo-icositétraèdre a^2.

Quelques-uns de ces cristaux réfléchissent assez la lumière pour pouvoir être étudiés au goniomètre. Les angles dièdres des huit trièdres sont égaux, à 20′ près, à l'angle normal de 146° 27′. Quant aux angles dièdres des angles solides à quatre faces, ils varient de 131° 27′ à 137°.

1. Hautefeuille, *Annales de l'École normale supérieure*, 2e série, t. IX, 1880.

Les propriétés optiques sont celles des cristaux naturels. Quand les deux séries de lamelles hémitropes se montrent rectangulaires dans une section, l'extinction se fait suivant la bissectrice des deux séries.

Le poids spécifique, la composition et les propriétés chimiques (attaque aux acides) sont ceux de la leucite naturelle. Il est difficile d'obtenir des cristaux exempts d'inclusions de vanadate de potasse.

Leucite à base de sesquioxyde de fer et de potasse. — Un procédé analogue a permis à M. **Hautefeuille** d'obtenir une leucite dans laquelle l'alumine est remplacée par le sesquioxyde de fer. L'opération se fait à la température de fusion de l'argent; elle réussit mieux quand on ajoute au mélange un centième de son poids de fluosilicate de potasse, après que les éléments amorphes ont été fondus. Il faut éviter toute trace d'alumine dans le mélange employé.

Il se produit des pseudo-icositétraèdres, formés d'un octaèdre a^2 et d'un dioctaèdre a_2; les formes sont encore plus voisines de celles du cube, que pour la leucite naturelle; la couleur est vert-jaunâtre. On a, pour la leucite ferrugineuse et pour la naturelle :

$$b : h = 1000 : 1024,4.$$
$$b : h = 1000 : 1052,7.$$

Par contre, ici, les cristaux sont fortement biréfringents; ils sont maclés parallèlement à b^1, en bandes multiples.

Minéraux lithiques de la série leucitique. — Nous croyons devoir rattacher, avec M. **Hautefeuille**, à la série leucitique, deux silico-aluminates de lithine, dans lesquels les rapports d'oxygène sont 1 : 3 : 12 et 1 : 3 : 10, et qu'il a obtenus en fondant un mélange de silice et

d'alumine en proportions convenables, dans un excès de vanadate ou de tungstate de lithine.

Le *silicate* (1 : 3 : 12) se présente en petits octaèdres transparents ou laiteux, à base carrée, très surbaissés, présentant les faces b^2 et b^1.

$$b^2\, b^2 \text{ sur } p = 117^0\ 30'$$
$$b^2\, b^1 = 137^0\ 10'$$
$$b^1\, b^1 = 99^0\ 50'$$

La double réfraction est faible; il y a absence de clivage; densité 2,41. La dureté et la résistance aux acides sont celles de l'orthose.

Le *silicate* (1 : 3 : 10) présente les mêmes formes et les mêmes angles à 1° près. L'octaèdre b^1 se produit seul : $b^1 b^1$ sur p = 101°.

La biréfringence est plus marquée que dans le silicate 1 : 3 : 12; les propriétés optiques sont celles des cristaux du système quadratique.

Essais divers. — La fusion du mica alumineux potassique dans le vanadate de potasse, et son chauffage prolongé à 800°, ont donné à **M. Hautefeuille** des cristaux de leucite.

La fusion du mica magnésien dans les mêmes conditions fournit une leucite impure.

M. Stanislas Meunier[1], en faisant réagir, à haute température, le chlorure de silicium sur des fils d'aluminium imprégnés de potasse caustique, a produit des cristaux brunâtres en trapézoèdres réguliers, composés de :

Silice	55.83
Alumine	13,54
Potasse par différence	20,63

Ces cristaux ont en moyenne 0mm,01 de diamètre; d'après l'auteur, ils n'agissent pas sur la lumière polarisée.

1. Stanislas Meunier, *C. r.*, 1880, t. XC, p. 109.

Nous avons examiné une préparation de ces cristaux, que M. Stanislas Meunier a bien voulu nous donner. Notre examen tend à modifier, en certains points, la description précédente : une partie des cristaux ont la forme d'octaèdres à base carrée; malgré leur petitesse, ils agissent nettement sur la lumière polarisée et présentent même une biréfringence supérieure à celle de la leucite naturelle; l'extinction de chaque cristal se fait simultanément dans toute son étendue, et il n'y a aucun indice de macle; les propriétes optiques concordent avec la forme quadratique.

Il résulte de ces dernières observations que le produit en question ne peut être entièrement assimilé à la leucite naturelle. La teinte brunâtre et l'incomplète transparence de ces petits cristaux nous paraissent accidentelles et dues à des impuretés.

Fusion ignée sans fondant. — La leucite se produit[1] par fusion purement ignée et recuit prolongé à haute température, quand on traite un mélange de ses éléments chimiques. Le dispositif nécessaire est le n° 2 (voir page 48). Dans nos meilleures expériences, nous avons employé des mélanges, susceptibles de fournir la leucite associée à d'autres minéraux et en particulier à l'augite. Alors, les minéraux associés, fondant à une température à laquelle la leucite peut cristalliser, fournissent, avec le dispositif n° 2, un bain favorable à l'agencement des molécules de ce minéral.

Au bout de vingt-quatre heures, on retire un culot vitreux, hérissé de petites sphérules blanchâtres de leucite; pendant le refroidissement, au milieu des parties d'apparence vitreuse, on voit brusquement de nouvelles

1. Fouqué et Michel Lévy, *Reproduction de la leucite et de la néphéline, C. r.*, 16 décembre 1878.

sphérules se développer, comme si les éléments constitutifs de la leucite, déjà groupés entre eux, n'attendaient qu'une température favorable pour manifester leur individualité cristalline. Un pareil phénomène ne se produit pas sans recuit préalable.

L'examen des plaques minces provenant d'un pareil culot présente un haut intérêt au point de vue des formes naissantes des cristaux de leucite. Les cristallites[1] de ce minéral se présentent en arborisations sensiblement rectangulaires, dont chaque élément est un petit cristal à formes généralement nettes, présentant en profil les faces a^2, a_2, et b^1. La jonction de ces cristaux se fait suivant les faces b^1 et leur ensemble constitue un groupement de 6 éléments à angles droits, de telle sorte qu'on voit souvent en plan des croix régulières.

Entre les nicols croisés, avec une lame de quartz parallèle, les deux séries d'éléments à angle droit se colorent de deux teintes différentes ; l'extinction a lieu simultanément dans le sens des branches de la croix. Quand un cristal bien formé sert de centre à ces arborisations, on constate que ses propres macles sont bien parallèles aux faces b^1 des éléments ambiants. Un pareil assemblage explique les formes pseudo-cubiques, si constantes dans la leucite.

Dans les cristaux élémentaires, on doit, par la considération de la symétrie observée, supposer l'axe optique dans le sens de l'allongement de chaque cristal en particulier et de la file dont il fait partie. L'emploi de la lame de quartz montre alors que ces cristaux sont négatifs.

Les cristaux de leucite ferrifère de M. Hautefeuille présentent des formes cristallitiques analogues.

Un recuit plus prolongé amène la formation de cristaux complets de leucite, identiques à ceux des laves; on

1. Fouqué et Michel Lévy, *Soc. minéralog.*, 1880, p. 118.

arrive aisément à en obtenir qui ont un demi-millimètre de diamètre; les formes sont nettes et les macles accusées.

La leucite artificielle présente souvent des couronnes d'inclusions vitreuses qui, suivant la nature du verre et les conditions d'un recuit ultérieur à plus basse température, sont susceptibles de fournir divers minéraux cristallisés.

En particulier, quand le verre est pyroxénique, on constate que la matière vitreuse incluse se transforme en augite, même lorsque le refroidissement est brusque. Telle est l'explication de l'englobement d'un minéral aussi fusible que l'augite, dans un corps réfractaire comme la leucite.

La fusion d'un mélange de microcline et de mica noir nous a fourni une leucitite (voir page 77).

Application à la géologie. — La leucite est un minéral des roches volcaniques et exceptionnellement des fumerolles. Nos expériences rendent compte du premier genre de gisement et des associations minérales qu'y affecte la leucite.

NÉPHÉLINE ($NaO, Al^2O^3, 2SiO^2$).

1878. F. Fouqué et Michel Lévy. — **1880.** Hautefeuille.

M. Hautefeuille[1] a obtenu des prismes hexagonaux ayant la composition de la néphéline, en fondant un mélange de silice et d'aluminate de soude en proportions convenables, avec un excès de vanadate de soude.

Les cristaux obtenus sont des prismes hexagonaux

1. Hautefeuille, *Annales de l'École normale supérieure*, t. IX, 1880.

réguliers, sans modification, ayant la composition de la néphéline et, comme eux, attaquables aux acides.

Fusion ignée sans fondant. — Nous avons obtenu[1] la néphéline en fondant ses éléments chimiques et en procédant à un recuit de quelques jours avec le dispositif n° 4. La néphéline est un des minéraux qui cristallisent le plus facilement dans de pareilles conditions.

Lorsqu'on opère sur un mélange de silice, d'alumine et de carbonate de soude tel que les proportions d'oxygène du protoxyde, du sesquioxyde et de l'acide soient comme 1 : 3 : 4, on obtient par fusion et recuit peu prolongé un culot blanc à reflet soyeux, que le microscope montre composé de petits prismes hexagonaux ($0^{mm},12$ de long sur $0^{mm},08$ de large), doués des propriétés optiques connues de la néphéline ; les sections hexagonales restent constamment éteintes entre les nicols croisés ; les sections rectangulaires s'éteignent suivant leurs côtés ; les cristaux présentent parfois un noyau central opaque, comme la néphéline de certains phonolithes. A la lumière convergente on constate que ce sont des cristaux à un axe négatif.

Quand on part d'un mélange légèrement surchargé en silice (1 : 3 : 4 $\frac{1}{2}$), on obtient un culot entièrement cristallisé, qui, au point de vue optique, est à la néphéline hexagonale ce que la calcédoine est au quartz. Les lamelles cristallines sont composées de nombreux cristaux élémentaires, se pénétrant mutuellement et constituant des macles multiples qui ne s'éteignent pas en une seule fois entre les nicols croisés. Parfois on aperçoit au centre d'une lamelle deux rectangles allongés se croisant suivant un angle voisin de 120 degrés ; l'extinction de l'ensemble se fait alors simultanément, ce qui suppose un axe de

1. Fouqué et Michel Lévy, *C. r.*, 16 décembre 1878.

rotation de la macle coïncidant avec un des axes principaux de l'ellipsoïde d'élasticité, resté commun à chacun des cristaux élémentaires et en même temps à la lamelle ambiante. Cette variété singulière de néphéline, d'apparence calcédonieuse, présente par places de véritables phénomènes de concrétion; comme la néphéline typique, elle fait facilement gelée avec les acides.

Les formes naissantes des cristaux de néphéline ne présentent pas la complication de celles de la leucite; leur orientation optique est unique; ils se composent d'éléments allongés, parallèles soit aux diagonales, soit aux côtés des sections, passant par deux arêtes opposées *m*, *m*.

Parfois on aperçoit des hexagones réguliers étoilés, dans lesquels les angles sont hérissés de protubérances radiales.

Nous avons essayé de faire cristalliser simultanément un mélange de néphéline et d'orthose en partant de leurs éléments; la néphéline a cristallisé comme à l'ordinaire, mais les éléments de l'orthose sont restés à l'état vitreux. Le recuit avait été effectué avec le dispositif n° 4.

Nos expériences et celle de M. Hautefeuille démontrent que la présence de la potasse n'est pas indispensable à la production de la néphéline.

Application à la géologie. — La néphéline s'observe dans la nature : 1° dans des roches éruptives granitoïdes (syénite, miascite); 2° dans les roches volcaniques (téphrites, néphélinites, phonolithes) ; 3° dans les fumerolles volcaniques.

Nos expériences de fusion purement ignée rendent compte de la formation de la néphéline dans les téphrites et les néphélinites, et expliquent les associations minérales dont elle y fait partie.

MEÏONITE [6 (Ca, Na) O, 4 Al^2O^3, 9 SiO^2].

1881. Bourgeois.

M. Bourgeois[1] a obtenu, par fusion ignée et recuit, un minéral ayant la composition de la meïonite calcique et sodique. Le culot, assez fusible, a été recuit avec le dispositif n° 3 et a cristallisé facilement par prise en masse. Les cristaux obtenus présentent des formes quadratiques; dans le sens de leur longueur, ils sont finement striés et transversalement ils offrent des sillons plus larges et plus écartés les uns des autres. Les extinctions en lumière parallèle et la croix noire en lumière convergente en font sans aucun doute des cristaux à un axe optique. Mais cet axe est positif, tandis que la meïonite naturelle est négative. Les couleurs de polarisation sont vives.

Dans certains culots, ce corps présente de très curieuses associations cristallitiques, rappelant les formes naissantes de la néphéline; suivant les sections parallèles à l'axe optique, on aperçoit des étoiles à six branches, l'extinction a lieu parallèlement à l'une des branches.

La composition de cette meïonite est la suivante:

$SiO^2 = 40,8$, $Al^2O^3 = 30,6$, $CaO = 22,1$, $NaO = 2,4$

Elle fait gelée avec les acides.

M. Bourgeois a également essayé de produire une meïonite purement calcique; le culot, très fusible, a été recuit avec le dispositif n° 3 et a cristallisé lentement. Il présente de beaux microlithes d'anorthite, engagés dans un magma cristallin non déterminable.

1. Bourgeois, *Bull. Soc. min.*, 1882, p. 15.

PETALITE ($3LiO, 4Al^2O^3, 30SiO^2$)

1880. HAUTEFEUILLE.

La reproduction de la pétalite a été réalisée par **M. Hautefeuille**[1], en fondant un mélange de silice, d'alumine et de lithine, en proportions convenables, en présence du vanadate de lithine. Le tungstate et le phosphate de lithine ne peuvent être employés, car ils déterminent la formation de tridymite et des silico-aluminates de lithine de la série leucitique, moins acides que la pétalite. Un excès de silice n'est pas nuisible au succès de l'opération; il reste combiné à l'acide vanadique et peut être enlevé par lessivage. Il est également bon d'ajouter un peu d'acide vanadique au vanadate neutre de lithine, pour empêcher la formation des silico-aluminates plus basiques que la pétalite.

Les cristaux obtenus sont incolores et biréfringents, quoique peu transparents : ils simulent des octaèdres à base rectangulaire. Ils ont la dureté et la densité de la pétalite naturelle.

Leur composition conduit au rapport d'oxygène 1 : 4 : 20. L'expérience de M. Hautefeuille a eu pour résultat de fixer définitivement la composition d'un minéral que l'on n'avait pu établir avec précision, à cause de l'impureté des cristaux naturels.

1. Hautefeuille, *C. r.*, t. XC, 1880, p. 541.

III. (δ). SILICATES ET SILICO-ALUMINATES HYDRATÉS

ZÉOLITES.

Apophyllite. 1847. Wöhler. — **Lévyne. 1862.** Henri Sainte-Claire Deville. — **Phillipsite 1862.** Henri Sainte-Claire Deville. — **Analcime. 1880.** De Schulten.

M. Daubrée[1] a constaté la production accidentelle de diverses zéolites : *chabasie*, *mésotype*, *christianite*, *apophyllite*, dans les bétons et les briques des canaux qui amènent au jour un certain nombre d'eaux minérales (Plombières, Bourbonne-les-bains, Luxeuil, Saint-Honoré, Hamman-Meskoutine). M. **Jutier** en a signalé la présence, dans des gisements analogues, à Plombières et Bourbon-Lancy. Ces minéraux paraissent s'y former sous l'influence de l'action prolongée que les silicates alcalins, en dissolution dans ces eaux, exercent sur les silicates alumineux des briques et bétons.

La genèse des zéolites naturelles, dans des conditions analogues, est d'ailleurs révélée par les observations géologiques.

Malgré ces données, on a peu réussi, jusqu'à présent, dans les essais tentés pour arriver à la reproduction artificielle de ces minéraux ; mais l'insuccès tient moins au

1. Daubrée, *Géol. expérim.*, p. 181. — *C. r.*, t. LXXXIII, 1872, p. 421. — *C. r.*, t. LXXXIV, 1877, p. 157.

défaut du procédé employé qu'à l'insuffisance des tentatives effectuées

Apophyllite. — Une expérience curieuse, bien qu'elle ne constitue pas un fait complet de reproduction artificielle, est celle qui a été exécutée par **Wöhler**[1] sur l'*apophyllite*. Ce minéral, réduit en poudre et chauffé en vase clos dans l'eau à la température de 180°, se dissout intégralement et cristallise de nouveau après refroidissement.

Lévyne. — **Henri Sainte-Claire Deville**[2] a obtenu la reproduction artificielle de la *lévyne* en chauffant dans un tube scellé, à une température comprise entre 150° et 200°, un mélange de deux solutions, l'une de silicate de potasse, l'autre d'aluminate de soude, dans la proportion de trois équivalents du premier sel pour un équivalent du second. Le précipité gélatineux qui se sépare au moment où l'on effectue le mélange, se transforme par un chauffage prolongé en lamelles hexagonales qui possèdent la composition et les propriétés physiques de la lévyne.

Observées au microscope à lumière convergente, elles présentent la croix noire et les anneaux des cristaux à un axe optique. Elles perdent de l'eau, quand on les chauffe dans le tube fermé, et fondent au chalumeau en une perle incolore et transparente, attaquable aux acides. L'analyse donne les chiffres suivants pour la composition de cette lévyne artificielle :

Silice	44,7
Alumine	21,5
Chaux	0,9
Soude	5,5
Potasse	8,5
Eau	19,7

1. Wöhler, *Ann. ch. et pharm.*, t. LXV, p. 80, 1847.
2. Henri Sainte-Claire Deville, *C. r.*, t. LIV, 1862, p. 324.

Il ne reste ni silice, ni alumine, en quantité notable, dans la liqueur alcaline.

La même expérience, effectuée à une température plus élevée, fournit un sable cristallin, composé d'un mélange de silice libre et d'un peu de lévyne ; il reste un aluminate alcalin en solution.

Phillipsite. — En opérant de la même manière à 200° sur un mélange de silicate et d'aluminate de potasse, **Henri Sainte-Claire Deville** a obtenu un autre produit cristallin zéolitique, dont la formule chimique est celle de la *phillipsite*, mais qui diffère de ce minéral par la proportion relative des bases qui en font partie.

En chauffant en vase clos un mélange de silicate de potasse et d'aluminate de baryte, en présence de l'eau, Henri Sainte-Claire Deville a obtenu un composé zéolitique cristallin, dont la composition est la suivante :

Silice	35,3
Alumine	10,2
Baryte	30,0
Potasse	5,8
Eau	18,9

Ce produit renferme les mêmes éléments chimiques que l'*harmotome*, mais dans des proportions différentes.

Analcime. — Le procédé employé par M. de **Schulten**[1] pour reproduire artificiellement ce minéral, consiste à chauffer en vase clos à la température de 180°, une dissolution de silicate de soude ou de soude caustique en présence d'un verre alumineux. L'opération dure dix-huit heures. Au bout de ce temps, on trouve, adhérents sur les parois du tube employé, des petits cristaux d'environ un dixième de millimètre, plongés dans un enduit de silice

1. De Schulten, *Bull. Soc. min.*, 1880, p. 150.

gélatineuse. Par l'acide chlorhydrique faible, et une solution chaude de soude caustique, on enlève cette silice et les autres impuretés, qui souillent les cristaux, et l'on recueille alors ceux-ci sous la forme d'une fine poudre blanche que M. de Schulten a analysée. Ces cristaux, vus au microscope, sont d'une limpidité parfaite ; leurs facettes sont brillantes, leurs angles d'une grande netteté. Leur forme est celle du trapézoèdre du système cubique. Ils sont pour la plupart d'une régularité complète. L'acide chlorhydrique les attaque lentement. Leur composition, donnée par l'analyse, est sensiblement celle de l'analcime naturelle.

Entre les nicols croisés, ils présentent avec une rare perfection les particularités optiques décrites par Brewster et Biot sur les cristaux de la nature. Ils s'éteignent, en effet, dans quatre directions à angle droit, suivant les diagonales des faces aboutissant aux sommets tétragonaux. De plus, si l'on fait glisser au-dessus de la préparation, dans la direction de l'une de ces diagonales, une lame de quartz parallèle à l'axe et donnant une teinte rosée sensible, on voit deux faces, aboutissant à chaque sommet tétragonal, se colorer en bleu violacé et les deux autres en jaune. Enfin, en observant l'un des cristaux à la lumière polarisée convergente et faisant en sorte que l'axe du microscope coïncide avec un sommet trièdre, on aperçoit le phénomène de la croix et des anneaux.

De ces observations on peut donc conclure, pour les cristaux artificiels, qu'ils sont formés par l'assemblage de huit cristaux élémentaires à un axe optique positif, conjugués deux à deux. De plus cet axe optique joue ici le rôle d'un axe de symétrie ternaire ; les cristaux élémentaires appartiendraient donc au système rhomboédrique.

C'est un groupement identique à celui signalé par M. Mallard dans l'alun. Nous devons faire remarquer que l'étude de certains cristaux d'analcime naturelle a conduit

M. Bertrand à des conclusions différentes : il considère l'analcime comme composée de six cristaux élémentaires conjugués, quadratiques, ayant chacun leur axe de symétrie perpendiculaire à l'une des faces du cube.

Il y aurait donc une différence essentielle entre la forme et le groupement des cristaux élémentaires de certaines analcimes naturelles et ceux de l'analcime artificielle de M. de Schulten. C'est là un fait dont il faut tenir compte dans la discussion, pendante aujourd'hui, au sujet de l'invariabilité du réseau cristallin fondamental d'une espèce minérale donnée.

Dans une nouvelle série d'expériences, **M. De Schulten** a obtenu l'analcime en faisant réagir à 180°, dans un tube de cuivre clos, le silicate de soude sur l'aluminate de la même base.

Les cristaux sont en groupes cohérents; pour les obtenir isolés, il convient d'introduire en outre de l'eau de chaux. L'analcime se présente alors surtout en cubes; mais on observe toutes les modifications du cube conduisant au trapézoèdre. Le fait intéressant, dans cette nouvelle reproduction, est l'absence complète de toute action sur la lumière polarisée, exercée par ces cristaux.

Ainsi tandis que l'analcime naturelle est monoclinique d'après M. von Lasaulx, orthorhombique d'après M. Mallard, quadratique d'après M. Émile Bertrand, l'analcime artificielle de M. de Schulten se comporte comme si elle était dans un cas rhomboédrique, et, dans l'autre cas, nettement cubique.

Application à la géologie. — Le procédé, qui a conduit à la reproduction artificielle de quelques zéolites, est conforme à ce que l'observation fournit, relativement au gisement de ces minéraux; ils se présentent surtout en druses et en filons, et, dans les roches volcaniques, par exemple, on sait que le remplissage des druses s'est fait

par voie humide à assez haute température. Le dépôt contemporain des zéolites, dans les conduits souterrains des eaux minérales, justifie la même opinion. Il s'agit, dans tous les cas, de l'action exercée par des eaux chaudes sur des silico-aluminates.

DIOPTASE ($CuO, SiO^2 + HO$).

1868. Becquerel.

Becquerel[1] a reproduit ce minéral en mettant en contact, à travers une feuille de papier-parchemin, deux dissolutions, l'une de nitrate de cuivre et l'autre de silicate de potasse. Il se produit, du côté du nitrate de cuivre, des prismes bleuâtres allongés, à pointements rhomboédriques, attaquables aux acides.

Ces prismes ont la composition de la dioptase naturelle.

Application à la géologie. — La dioptase est un minéral de filon ; elle peut s'être produite dans la nature, dans des conditions peu différentes de celles qui ont été mises en œuvre dans l'expérience de Becquerel.

1. Becquerel. *C. r.*, t. LXVII, 1868, p. 1081.

IV

ACIDE TITANIQUE
TITANATES ET SILICO-TITANATES

RUTILE (TiO^2).

1849. Daubrée. — **1851.** Ebelmen. — **1851.** Sénarmont. — **1858.** Henri Sainte-Claire Deville et Caron. — **1864.** Hautefeuille. — **1876.** Friedel et Guérin.

L'acide titanique cristallisé est l'un des composés minéraux qui ont été reproduits artificiellement avec le plus de perfection et par les méthodes les plus diverses. On a reconstitué ses trois variétés naturelles : le rutile, la brookite et l'anatase.

Le rutile est la seule variété dont on ait constaté la reproduction accidentelle. On l'a trouvé dans les crevasses des parois d'un haut fourneau et sa forme cristalline, identique à celle des échantillons de la nature, a été déterminée par **Scheerer**[1].

M. **Daubrée**[2] a obtenu le rutile en décomposant le chlorure de titane, à haute température, par la vapeur d'eau. Il se sert d'acide carbonique pour entraîner les vapeurs du chlorure.

1. Scheerer, *Berg. u. Hütt.*, 1862, p. 28.
2. Daubrée, *C. r.*, t. XXIV, 1849, p. 227.

Le même corps a été reproduit par **Ebelmen**[1] en maintenant, pendant plusieurs jours, un mélange d'acide titanique et d'acide borique à une très haute température, de manière à volatiliser la majeure partie de l'acide borique employé, ou bien encore en opérant de même sur un mélange d'acide titanique et de sel de phosphore. Dans le premier cas, les cristaux obtenus étaient très petits et enchevêtrés ; dans le second, ils étaient au contraire assez développés et assez isolés, après enlèvement par lessivage du sel de phosphore employé en excès, pour que leurs propriétés physiques aient pu être étudiées. Ces cristaux transparents, d'un jaune d'or, avaient un poids spécifique égal à 4,283.

La reproduction artificielle du rutile par voie humide a été opérée par **Sénarmont**[2] en chauffant l'acide titanique précipité en vase clos à 200°, en présence de l'eau saturée d'acide carbonique.

Henri Sainte-Claire Deville et **Caron**[3] ont obtenu le rutile en chauffant au rouge, dans un creuset de grès, un mélange d'acide titanique amorphe et d'oxyde d'étain. Il se forme, dans ces conditions, un titanate de protoxyde d'étain que la silice du creuset décompose au fur et à mesure de sa formation. Des traces de fer et de manganèse suffisent pour donner au produit la couleur du rutile naturel. L'opération réussit plus sûrement encore, si l'on ajoute un peu de sable quartzeux aux réactifs employés. Les cristaux que l'on recueille font saillie à la surface des cavités du culot et forment des druses délicates; ils reposent sur une couche vitreuse de silicate d'étain. Leur forme est celle de prismes cannelés à huit pans,

1. Ebelmen, *C. r.*, t. XXXII, 1851, p. 230. — *Ann. de ph. et ch.*, t. XXXIII. p. 34. — *J. F. Pr. ch.* t. LIX, p. 143.
2. Sénarmont, *Ann. de ph. et ch.*, 1851, p. 129.
3. Henri Sainte-Claire Deville et Caron, *C. r.*, t. XLVI, p. 764, 1858. *L'inst.*, p. 133, 1858.

dont les faces font entre elles des angles de 135°. Ils ne présentent pas le pointement octaédrique si fréquent dans le rutile naturel.

Parmi les méthodes employées pour arriver à la reproduction artificielle du rutile, celle qui conduit aux résultats les plus beaux et les plus constants, repose sur la décomposition à haute température du chlorure ou du fluorure de titane par la vapeur d'eau. Elle est susceptible d'être appliquée de deux façons. On peut, en effet, comme l'a pratiqué M. Daubrée, agir directement avec les réactifs qui viennent d'être cités ; mais on peut aussi, comme l'a fait **Henri Sainte-Claire Deville** [1], opérer indirectement en faisant agir à haute température l'acide chlorhydrique ou l'acide fluorhydrique sur l'acide titanique amorphe. Dans ce second cas, les réactifs employés donnent naissance à du fluorure de titane et à de la vapeur d'eau qui se décomposent mutuellement, comme lorsqu'on a recours à leur intervention directe.

La reproduction du rutile par Henri Sainte-Claire Deville au moyen de l'action qu'exerce l'acide chlorhydrique ou l'acide fluorhydrique, passant au rouge vif sur l'acide titanique amorphe, mérite d'être spécialement mentionnée parce que c'est l'un des premiers résultats qui aient mis en évidence le rôle des minéralisateurs. Les cristaux fournis par ce procédé sont très petits, mais doués d'une grande netteté. Ce résultat parut d'autant plus surprenant, à l'époque où il fut publié, que jusqu'alors l'acide titanique était considéré comme inattaquable par l'acide chlorhydrique.

En opérant dans une atmosphère réductrice, Henri Sainte-Claire Deville a produit l'oxyde de titane (Ti^2O^3,TiO^2), corps bleu foncé, qui se montre en lamelles cristallines

1. Henri Sainte-Claire Deville, *C. r.*, t. LIII, p. 161. — *L'Inst.*, t. XXXI, p. 249. — *Jahrb. f. Min.*, 1862. p. 79.

et auquel on doit rapporter la teinte bleue de certaines variétés de rutile.

Parmi les expérimentateurs qui ont poursuivi avec le plus de succès la méthode inaugurée par M. Daubrée et par Henri Sainte-Claire Deville, pour la reproduction de l'acide titanique cristallisé, nous devons citer en premier lieu **M. Hautefeuille**[1] qui, reprenant et variant les expériences indiquées ci-dessus, a pu non seulement reproduire les trois types naturels d'acide titanique cristallisé, mais encore réaliser les particularités de forme et de structure de leurs diverses variétés.

Parmi ces produits si intéressants, nous ne pouvons indiquer ici que les principaux, en rappelant brièvement le mode opératoire qui a engendré chacun d'eux.

Le rutile, en cristaux courts et mesurables au goniomètre, a été obtenu en faisant passer au rouge un courant d'air sec, chargé d'acide chlorhydrique, sur un mélange de titanate de potasse et de chlorure de potassium.

Le rutile aciculaire a été reproduit: 1° en décomposant au rouge le fluorure de titane par la vapeur d'eau; 2° en faisant agir l'acide chlorhydrique gazeux sur un mélange fondu de fluorure alcalin et d'acide titanique.

Le rutile tabulaire s'obtient en amenant au rouge un courant d'acide chlorhydrique au contact d'un mélange d'acide titanique et de fluosilicate de potasse.

La sagénite peut être reproduite en ajoutant de la silice à l'acide titanique et au fluosilicate.

Enfin la teinte bleuâtre qu'offrent certains cristaux naturels de rutile, revêt aussi les cristaux artificiels quand on opère dans une atmosphère réductrice.

Dans quelques-unes de ses expériences, M. Hautefeuille a pu réaliser à la fois la cristallisation des trois types na-

1. Hautefeuille, *C. r.*, t. LVII, 1864, p. 148. — *Ann. de ph. et de ch.*, 4e série, t. IV, p. 129, 1865. — *L'Inst.*, 1863, p. 226. — *Bull. Soc. ch.*, t. V, p. 558. — *Ann. ch. ph.*, t. CXXIX, p. 215.

turels d'acide titanique. Il a montré que la forme cristalline du produit engendré dépendait surtout de la température employée.

Le rutile est la seule variété d'acide titanique cristallisé, stable à très haute température dans une atmosphère humide et très acide ; la brookite se forme à une température moins élevée et l'anatase ne se montre guère qu'à une température inférieure à 100 degrés. Un appareil, inégalement chauffé dans ses diverses parties, lui a fourni aisément la démonstration de ces relations entre la forme qu'affecte l'acide titanique cristallisé et la température à laquelle il prend naissance. Cependant, comme M. Hautefeuille l'a remarqué lui-même, « la température à laquelle « s'effectue la cristallisation de l'acide titanique n'impose « pas toujours à ce corps sa forme la plus stable. » C'est ce qui ressort, en effet, de la reproduction du rutile à basse température par Sénarmont.

Un procédé, entièrement différent des précédents et fondé sur la cristallisation à haute température en présence d'un fondant, a aussi été mis en œuvre par M. Hautefeuille[1]. De l'acide titanique amorphe est maintenu pendant plusieurs semaines dans un bain de tungstate de soude fondu. Après refroidissement et lessivage du culot, on recueille des petits cristaux brillants de rutile.

MM. **Friedel** et **Guérin**[2] ont fait cristalliser l'acide titanique, sous forme de rutile, en faisant passer à haute température un courant de chlorure de titane sur du fer titané, du fer oxydulé ou du fer carbonaté. Le fer se volatilise entièrement quand on emploie le chlorure de titane en excès et l'oxygène se porte sur le titane ; il se forme du rutile en petits cristaux brillants.

Enfin, nous devons noter[3] que l'acide titanique amorphe

1. Hautefeuille.
2. Friedel et Guérin, *C. r.*, t. LXXXII, 1876, p. 509.
3. Fuchs, *Kunst. Min.*, p. 91.

est susceptible de cristalliser par simple fusion. A l'aide du chalumeau oxhydrique on peut, en effet, le fondre et obtenir après refroidissement un globule couvert de facettes cristallines. Le poids spécifique de ce produit est égal à 4,1.

BROOKITE (TiO^2).

1849. Daubrée. — **1854.** Daubrée. — **1863.** Hautefeuille.

Ce minéral a été reproduit par **M. Daubrée**[1] en faisant passer, dans un tube chauffé au rouge, à la fois de la vapeur d'eau et de la vapeur de chlorure de titane.

Il a été aussi[2] obtenu par le même savant en faisant agir le chlorure de titane sur la chaux à haute température.

M. Hautefeuille[3] a d'abord répété les expériences de M. Daubrée et obtenu les mêmes résultats ; puis, poursuivant ses recherches, il a pu reproduire toutes les variétés naturelles de brookite. Les procédés qu'il emploie, peuvent toujours se ramener théoriquement à la décomposition par la vapeur d'eau, soit du chlorure, soit du fluorure de titane, à une température plus basse que celle qui préside à la formation du rutile, et plus élevée que celle à laquelle l'anatase prend naissance. Nous devons ici nous contenter d'énumérer les variétés diverses de brookite ainsi obtenues, en indiquant les réactifs mis en œuvre pour la production de chacune d'elles.

1. Daubrée, *C. r.*, t. XXIX, p. 227, 1849.
2. Daubrée, *C. r.*, t. XXXIX, p. 13, 1854.
3. Hautefeuille, *C. r.*, t. LVII, p. 148. — *Ann. de ph. et ch.*, 4e série, t. IV, p. 129. — *L'Inst.*, 1863, p. 226. — *Bull. Soc. ch.*, t. V, p. 558. — *Ann. ch. pharm.*, t. CXXIX, p. 215.

La brookite de l'Oural a été reproduite : 1° en décomposant le fluorure de titane par la vapeur d'eau (le fluorure de titane est préparé au moyen de l'acide chlorhydrique et du fluotitanate de potasse); 2° en faisant passer un triple courant d'acide chlorhydrique, de fluorure de silicium et d'hydrogène sur un mélange fondu d'acide titanique, de chlorure de potassium et de fluorure de calcium.

Les cristaux qui se forment ainsi sont bleu foncé par réflexion, bleu lavande par transparence; leur poids spécifique est égal 4,1. Les angles $c^{1/3}c^{1/3}$ et $c^{1/3}b^{1/3}$ ont pu être mesurés et trouvés respectivement égaux à 99°51′ et 134° comme dans les cristaux naturels. La macle en gouttière de la brookite, avec son angle caractéristique égal à 109°, a aussi été observée.

L'arkansite a été obtenue en décomposant au rouge sombre, par l'acide chlorhydrique, dans un creuset de charbon, un mélange fondu composé de silice, d'acide titanique et de fluosilicate de potasse. Les cristaux qui se forment sont noirs. Les faces dominantes sont $b^{1/3}$, $c^{1/3}$ et h^1; les angles de ces faces ont pu être mesurés.

On a : $c^{1/3}b^{1/3} = 134°$, $h^1 b^{1/3} = 132°25'$, $c^{1/3}c^{1/3} = 100$.

La brookite lamelliforme a été reproduite avec les réactifs de l'expérience précédente, mais dans un creuset de platine et en faisant intervenir l'action oxydante d'un courant d'air. On obtient ainsi des cristaux identiques à ceux de l'Oisans. Les angles h^1c^1 et $h^1b^{1/6}$ ont été trouvés respectivement égaux à 141°41′ et 143°57′, comme dans les échantillons naturels. La face h^1 est striée parallèlement aux arêtes du prisme à base rhombe. Le poids spécifique observé est égal à 4,1.

ANATASE (TiO^2).

1849. Wöhler. — **1864.** Hautefeuille. — **1867.** Gustave Rose.

Wöhler a obtenu le premier[1] l'anatase cristallisée. Après avoir démontré que les cristaux titanifères hexaédriques, qui se forment parfois dans la sole des hauts fourneaux, sont un azoto-cyanure de titane, il eut l'idée de traiter ce corps, au rouge, par un courant d'hydrogène. Dans cette expérience, il se dégage de l'ammoniaque et de l'acide cyanhydrique, et l'on recueille un agrégat composé de petits cristaux octaédriques, d'un éclat adamantin, en partie incolores. Le pointement de l'octaèdre est sensiblement aigu, et l'analyse confirme qu'ils sont exclusivement composés d'acide titanique.

M. Hautefeuille[2] a réalisé la reproduction artificielle de l'anatase, en décomposant le chlorure ou le fluorure de titane par la vapeur d'eau à une température inférieure à 100°. On obtient dans ces conditions des cristaux remarquables par leur éclat et la netteté de leurs formes. Ce sont des pyramides quadratiques tronquées dont les angles b^1b^1 et b^1p ont été mesurés et trouvés égaux à ceux des échantillons naturels. Le poids spécifique de ces cristaux est égal à 3,8. Quand on opère dans une atmosphère d'hydrogène, ils possèdent une belle teinte bleue, due à la présence, dans leur constitution, d'un peu de sesquioxyde de titane. Quand, au contraire, on opère dans

1. Wöhler, *Pogg. Ann.*, t. LXXVIII, 1849, p. 421.
2. Hautefeuille, *C. r.*, t. LVII, 1864, p. 148. — *Ann. de ph. et ch.*, 4e série, t. IV, p. 129.

l'air, ils sont incolores comme l'anatase naturelle du Brésil.

G. Rose[1] a constaté au microscope que le trouble, observé dans la perle obtenue au chalumeau, en fondant l'acide titanique dans le sel de phosphore, provenait d'une formation d'anatase.

Application à la géologie. — Les diverses variétés d'acide titanique s'observent dans le granite, la diorite, la granulite et dans les schistes et les calcaires métamorphiques; elles se trouvent aussi dans les quartz des filons concrétionnés stannifères, dans les gisements de fer oxydulé.

L'action minéralisatrice de l'acide chlorhydrique ou de l'acide fluorhydrique trouve ici une application naturelle presque certaine; les expériences de M. Hautefeuille montrent en outre dans quelles conditions de température se forment les diverses espèces : rutile, brookite, anatase.

SESQUIOXYDE DE TITANE (Ti^2O^3).

1876. Friedel et Guérin.

Ce composé, très remarquable par son isomorphisme avec le fer oligiste (Fe^2O^3) et l'ilménite ($FeTiO^3$), n'existe pas dans la nature, mais il doit être cité ici parce qu'il fait partie d'une série naturelle qu'il complète et dont il éclaire la constitution.

Ce corps a été obtenu par MM. **Friedel et Guérin**[2], en

1. G. Rose, *Verh. nat. His. Ver. pr. Rh. und Westph.*, 1867, p. 49.
2. Friedel et Guérin, *C. r.*, t. LXXXII, 1876, p. 509.

faisant passer, à haute température, un double courant d'hydrogène et de chlorure de titane sur de l'acide titanique amorphe. Il se présente en petits cristaux brillants, d'un rouge cuivré, à reflets violacés. Ce sont des lamelles hexagonales ou des rhomboèdres basés, modifiés par les faces d'un isocéloèdre. La forme est exactement celle des cristaux de fer oligiste de l'île d'Elbe. Les faces observées sont a^1, p et e^5 et les angles mesurés sont très voisins des angles analogues du fer oligiste et de l'ilménite.

Ainsi, le fer oligiste, l'ilménite et ce sesquioxyde de titane sont les trois termes d'une même série minéralogique, dont chacun peut être considéré comme constitué par l'union d'un protoxyde et d'un bioxyde. Cet isomorphisme établit entre le fer et le titane un curieux rapprochement au point de vue chimique, rapprochement que confirment encore d'autres faits, tels que la forme hexagonale des hexachlorures dititaniques et diferriques et l'existence de sulfates hexagonaux des deux métaux.

Cependant les auteurs font remarquer avec raison qu'il ne faut pas s'exagérer la portée des conclusions à déduire de ces faits. Voici en effet les réflexions qu'ils leur suggèrent : « Est-ce à dire qu'il faille, en raison de ces faits, « éloigner le titane du silicium et de l'étain avec les- « quels on le classe habituellement? Nous ne le pensons « pas ; mais nous croyons que l'étude d'un seul degré de « combinaison ne suffit pas pour fixer la place d'un élé- « ment dans le système, et que les analogies peuvent « varier suivant que l'on s'attache à tel ou tel ordre de « composés. »

MM. Friedel et Guérin ont en outre obtenu l'oxyde Ti^3O^5, bien cristallisé.

PEROWSKITE (CaO, TiO^2).

1852. Ebelmen. — **1865**, Hautefeuille.

Ebelmen a le premier reproduit ce titanate de chaux[1], en fondant ensemble un mélange d'acide titanique, de silicate alcalin et de carbonate alcalin, et déposant dans la matière fondue un morceau de carbonate de chaux. Dans ces conditions, le carbonate de chaux se change presque entièrement en perowskite.

Ebelmen a encore obtenu le même minéral en portant à une très haute température, longtemps soutenue, un mélange d'acide titanique, de chaux et de carbonate alcalin, de manière à ce que la majeure partie du dissolvant se volatilisât. La perowskite formée a un poids spécifique égal à 4,1.

Elle se présente en petits cristaux à formes cubiques, parfois modifiées par des troncatures octaédriques. Entre les nicols croisés, on voit se développer un réseau de lamelles hémitropes parallèles aux faces du cube, et formant des séries qui, sur chacune de ces faces, se soudent suivant les diagonales. L'extinction la plus marquée se fait parallèlement à ces diagonales.

A la lumière naturelle, les cristaux sont brunâtres avec bandes alternantes inégalement teintées, et inclusions vitreuses à bulles de gaz. On sait que la perowskite naturelle présente des anomalies optiques analogues qui ont donné lieu à des interprétations diverses.

M. Hautefeuille a également reproduit la perowskite, avec sa forme cristalline normale et ses propriétés opti-

1. Ebelmen, *C. r.*, t. XXXII, 1851, p. 710, et t. XXXIII, 1852, p. 525.

ques si caractéristiques[1]. Le procédé, employé par lui, consiste à soumettre un mélange d'acide titanique, de silice et de chlorure de calcium, porté au rouge vif, à l'action d'un courant lent d'acide carbonique humide ou d'air chargé de vapeur d'eau et d'acide chlorhydrique. Il se forme en même temps un peu de rutile.

Au microscope, la perowskite de M. Hautefeuille possède l'apparence cubique; elle est en cristaux incolores et transparents; entre les nicols croisés, sur chaque face du cube, on distingue deux séries de macles parallèles aux arêtes; les extinctions sont difficiles à constater. Il n'y a pas ici de division en secteurs comme dans la perowskite d'Ebelmen.

Le rutile est en cristaux fusiformes striés; il polarise vivement.

Perowskite de magnésie. — En chauffant au rouge un mélange d'acide titanique, de chlorure de magnésium et d'une petite quantité de chlorhydrate d'ammoniaque, M. Hautefeuille a obtenu un titanate de magnésie cristallisé, dont la composition est analogue à celle de la perowskite. Ce corps se présente en lamelles hexagonales ou rhomboïdales qui agissent sur la lumière polarisée.

Application à la géologie. — La perowskite est un minéral de roches métamorphiques; le procédé de M. Hautefeuille semble fournir une indication sur son mode de formation dans la nature. En effet, l'acide titanique, en présence d'un silicate de chaux, peut se trouver soumis à l'action de l'acide chlorhydrique, comme minéralisateur.

1. Hautefeuille, *Ann. de ph. et de ch.*, 1865, t. IV, p. 129.

TITANATES BIBASIQUES ($2MO, TiO^2$).

1865. Hautefeuille.

M. Hautefeuille[1] a fait cristalliser une série de titanates bibasiques, intéressante au point de vue minéralogique, bien qu'elle n'ait pas de représentants dans la nature.

Titanate bibasique de magnésie. — Ce corps s'obtient en fondant ensemble un mélange d'acide titanique, de magnésie et de chlorure de magnésium. Après refroidissement et lessivage du culot résultant de l'opération, on recueille des cristaux transparents dont la forme est celle de l'octaèdre régulier. Ces cristaux rayent le verre, leur poids spécifique est égal à 3,52.

Titanate bibasique de protoxyde de fer. — Ce corps s'obtient cristallisé en traitant, comme dans l'expérience précédente, un mélange d'acide titanique, de protochlorure de fer et de chlorure de sodium, ce dernier réactif étant employé en grand excès. Les cristaux, que l'on recueille après lessivage, sont d'un rouge pourpre foncé. Ils appartiennent au système orthorhombique. Les faces les plus développées sont m, h^1, h^2, g^1.

Les angles, compris entre elles, ont été mesurés et donnent : $mm = 127°30'$, $h^1g^1 = 90°$, $h^1h^2 = 135°$.

Cette substance n'est pas magnétique. Son poids spécifique est égal à 4,87.

L'opération ne réussit qu'à la condition d'éviter les influences oxydantes; sinon, le protoxyde de fer s'oxyde et l'on obtient, cristallisés séparément, du rutile incolore et du fer oligiste.

Titanate bibasique de manganèse. — Ce corps est ana-

1. Hautefeuille, *Ann. de ph. et de ch.*, 4e série, t. IV, 1865, p. 129.

logue au précédent et s'obtient dans les mêmes conditions.

Il est à remarquer que « l'acide titanique, en se combi-
« nant aux bases des pyroxènes, forme des titanates mo-
« nobasiques (RO, TiO^2), et en se combinant aux bases
« des péridots, des titanates bibasiques ($2RO, TiO^2$). »

La collection des produits artificiels de l'École des mines possède un titanate de magnésie et un titanate de sesquioxyde de fer cristallisés, qui proviennent des expériences d'**Ebelmen**, mais dont on ne connaît pas la composition.

Le titanate de magnésie se présente en longs prismes incolores groupés en faisceaux, et offrant des pointements rectangulaires. On n'y voit aucune trace de clivage. Les couleurs de polarisation sont vives, les extinctions longitudinales.

Le titanate de sesquioxyde de fer est en prismes allongés, transparents, d'un brun foncé, doués d'un reflet bleu métallique. Les extinctions sont longitudinales. Le polychroïsme n'est pas sensible.

SPHÈNE ($CaO, 2SiO^2 + CaO, 2TiO^2$).

1852. Ebelmen. — **1865.** Hautefeuille.

Ebelmen a laissé, dans la collection des produits artificiels de l'École des mines, des échantillons de sphène, probablement obtenus d'une façon analogue à celle qui lui a servi à produire la perowskite.

Ces cristaux, dont la description n'a pas été publiée, se présentent en prismes très allongés, d'un jaune verdâtre, à pointements généralement rectangulaires. On y observe

parfois des formes arborisées en barbe de plume, avec angle voisin de 60°. L'extinction entre les nicols croisés se fait à peu près suivant la longueur.

M. **Hautefeuille** a fait cristalliser le sphène[1] en soumettant à une haute température un mélange de silice, d'acide titanique et de chlorure de calcium en excès. Pour expliquer la réaction qui s'opère, il suppose qu'il y a formation de chlorure de titane et de silicate de chaux et décomposition mutuelle immédiate de ces deux produits.

Les cristaux obtenus possèdent la forme, le poids spécifique et la composition du sphène naturel. Les angles *mm* et $mb^{1/2}$ ont pu être mesurés. Les macles sont fréquentes et identiques à celles des cristaux de la nature; leur production semble facilitée par la présence des matières étrangères, mélangées aux produits de la réaction.

Il est à peine besoin de dire qu'aucun rapprochement n'est possible entre le procédé employé par M. Hautefeuille pour reproduire le sphène, et les moyens mis en œuvre par la nature pour donner naissance à ce même minéral. En outre, les cristaux sont ici en prismes allongés et ne rappellent pas les formes du sphène, qui fait partie intégrante des roches.

En poursuivant le cours de ses expériences, M. Hautefeuille est arrivé à ce résultat intéressant, bien que négatif, savoir : que l'on ne pouvait, par son procédé, obtenir des sphènes à base de magnésie, de baryte, de protoxyde de fer ou de manganèse.

1. Hautefeuille, *Ann. de ph. et de ch.*, 4e série, t. IV, 1865, p. 129.

V

TANTALATES — NIOBATES CHLORO-VANADATES

TANTALITE (FeO, TaO^5).

Ebelmen[1] a tenté la reproduction artificielle de ce minéral en appliquant sa méthode ordinaire à un mélange de silice, d'acide tantalique, d'oxyde de fer, de potasse et de chaux. La matière cristalline, qui résulte de l'opération, ne paraît pas avoir été l'objet d'une étude spéciale.

PYROCHLORE.

1876. Joly.

Le pyrochlore est un niobate de chaux, de composition complexe. En effet, on y a signalé, en outre, des oxydes de cerium, de lanthane, de fer, de la magnésie, des alcalis et du fluor.

M. Joly[2] suppose que, réduit à sa composition la plus simple, le pyrochlore serait une combinaison de nio-

1. Ebelmen, *C. r.*, t. XXXIII, 1851, p. 525.
2. H. Joly, *thèse*, 1876, p. 61.

bate de chaux et de fluorure de calcium, analogue à l'apatite. Appuyé sur cette hypothèse, il a tenté la reproduction de ce minéral qui se montre dans la nature sous forme d'octaèdres réguliers. Il a maintenu fondu, pendant quelques heures, un mélange de fluorure de calcium et d'acide niobique.

Après refroidissement et lavage à l'acide sulfurique, pour enlever le fluorure de calcium en excès, on sépare des octaèdres qu'on ne peut analyser à cause des impuretés (oxyfluorure niobique et fluorure de calcium en excès).

Ebelmen[1] avait obtenu une combinaison cristallisée, analogue au pyrochlore tantalique, en fondant un mélange de silice, d'acide tantalique, d'oxyde de fer et de potasse avec de la chaux.

NIOBITE [$(FeO, MnO)^4 Nb^2O^5$].

1876. Joly.

La niobite est un minéral naturel, cristallisé en prismes orthorhombiques, essentiellement composé d'acide niobique, de protoxyde de fer et de protoxyde de manganèse.

M. Joly[2] l'a reproduite en portant au rouge vif un mélange de cinq parties d'acide niobique, quatre de proto-fluorure de fer, deux de proto-fluorure de manganèse. On obtient ainsi de petits cristaux noirs, très brillants, rappelant par leur forme ceux de la niobite du Groënland. Leur densité est 5,24.

1. Ebelmen, *C. r.*, t. XXXIII, 1851, p. 525.
2. A. Joly, *thèse*. 1876. p. 63.

M. Joly a complété la série des niobates mono-basiques, analogues à la niobite, en produisant le niobate de manganèse et celui de fer, l'un et l'autre purs.

Le niobate de manganèse a été obtenu en maintenant au rouge blanc, pendant une heure, un mélange d'acide niobique, de proto-fluorure de manganèse et de chlorure de potassium en excès. Les cristaux qui se forment, sont des prismes orthorhombiques roses, transparents, dont la densité est de 4,94. Les faces visibles sont m, h^1, h^3, $h^{4/3}$, a^2, $a^{1/2}$, p, g^1 et $g^{4/3}$. L'angle du prisme est de 100°40′, on a $h^1/a^2 = 117°44'$. Ces angles sont sensiblement ceux de la niobite naturelle.

Le niobate de fer se prépare en substituant le proto-fluorure de fer à celui de manganèse dans l'expérience précédente; il se présente en gros prismes d'un noir d'acier.

Application à la géologie. — La niobite, parfois associée au wolfram, se trouve souvent dans les pegmatites. L'action minéralisatrice du fluor peut expliquer ce gisement naturel.

VANADINITE ($3PbO, VO^5 + \frac{1}{3} PbCl$).

1871. Hautefeuille.

Ce minéral a été reproduit artificiellement par **M. Hautefeuille**[1] en fondant un mélange d'acide vanadique, d'oxyde de plomb et de chlorure de plomb en excès. Ce

1. Hautefeuille, *C. r.*, t. LXXII, 1871, p. 869.

dernier remplit l'office de fondant. Les cristaux sont des prismes très allongés, jaunes et transparents. Ils possèdent la forme hexagonale et la composition de la vanadinite naturelle.

VI

ACIDE TUNGSTIQUE — TUNGSTATES

TUNGSTITE (WO^3).

1862. Debray.

Ce composé ne se présente dans la nature que sous l'aspect d'une poudre blanche d'apparence amorphe. La synthèse minéralogique a seule permis de déterminer sa forme cristalline. M. **Debray**[1] a réalisé cette synthèse, en faisant passer, au rouge blanc, un courant d'acide chlorhydrique sur un mélange de tungstate de soude et de carbonate de soude. L'acide tungstique qui résulte de cette réaction, se présente sous la forme de prismes orthorhombiques dont quelques-uns sont terminés par les faces d'une pyramide. Quand le courant d'acide chlorhydrique est rapide, il y a transport et volatilisation apparente de l'acide tungstique; les cristaux noirs, volumineux, qui se forment, se déposent dans la partie refroidie de l'appareil. Quand le courant est lent, la cristallisation s'opère sur place.

M. Debray a montré en outre qu'en soumettant au rouge blanc le wolfram naturel, ou un mélange des éléments chimiques de ce minéral, à l'action d'un courant d'acide

1. Debray, *C. r.*, t. LV, 1862, p. 289.

chlorhydrique, on obtenait plusieurs corps cristallisés : de l'acide tungstique, du sesquioxyde de fer, du sesquioxyde de manganèse et du wolfram.

M. Nordenskiöld[1] a mesuré des cristaux artificiels de tungstite, obtenus par ce procédé, et trouvé 110° pour l'angle du prisme. Il a de plus constaté l'isomorphisme de l'acide tungstique et de l'acide molybdique.

Application à la géologie. — La tungstite se montre dans la nature associée au wolfram. Sa formation artificielle, par simple action de l'acide chlorhydrique au rouge sur l'acide tungstique ou sur le wolfram, explique donc les conditions probables de formation de ce corps.

SCHEELITE (CaO, WO^3).

1849. Manross. — **1862.** Debray. — 1879. Michel.

Quand on mélange une dissolution d'un tungstate alcalin avec une dissolution d'un sel de chaux, il se forme un précipité qui a la composition de la scheelite, mais qui est amorphe.

Pour obtenir le tungstate de chaux cristallisé, **Manross**[2] a employé la voie sèche. Il a fondu dans un creuset de Hesse un mélange de tungstate de soude et de chlorure de calcium; puis, après refroidissement, il a soumis à un lessivage le culot résultant de l'opération. Il reste alors une poudre noire, brillante, composée de cristaux ayant les propriétés physiques et la composition de

1. Nordenskiöld, *Pogg. Ann.*, t. CXIV, p. 223. 1863.
2. Manross, *Ann. de ch. et pharm.*, t. LXXXI, p. 253, et t. LXXXII, p. 348. — *J. f. pr. Ch.*, t. XXVI, p. 128.

la scheelite. Ils ont la forme d'octaèdres quadratiques, les uns simples, les autres modifiés. L'angle (130°20′) des faces de la pyramide quadratique, caractéristique de la scheelite naturelle, a été observé dans une mesure goniométrique. Le poids spécifique est égal à 6.

Cette même expérience répétée par Manross à une température moins élevée, dépassant peu la température de fusion du chlorure de calcium, a fourni des cristaux de scheelite de 5 millimètres de long.

Une autre méthode a été employée avec succès par **M. Debray**[1]. Il a chauffé un mélange de tungstate de chaux et de chaux vive au rouge dans un courant d'acide chlorhydrique. Après refroidissement du tube servant à l'expérience, on trouve un dépôt de chlorure de calcium enveloppant des cristaux de tungstate de chaux qui, convenablement lavés, se montrent sous la forme de pyramides quadratiques identiques à celles de la scheelite naturelle, et qui possèdent d'ailleurs, comme le montre l'analyse, la composition de ce minéral.

M. Michel a obtenu la scheelite[2] en fondant 1 partie de tungstate de soude, 1 1/2 de chlorure de calcium, 2 de chlorure de sodium à haute température; la masse fondue et refroidie lentement est traitée par l'eau.

Les cristaux, dépassant 1^{mm}, constituent des squelettes d'octaèdres quadratiques, dont les éléments intégrants sont parallèles aux faces de l'octaèdre. Les extinctions se font suivant les plans de suture.

M. Michel a également obtenu la scheelite en fondant le wolfram dans un excès de chlorure de calcium. Les cristaux sont incolores, longs de 0^{mm},3 à 0^{mm},5; ils ont la forme de pyramides tétragonales hémiédriques et

1. Debray, *C. r.*, t. LV, p. 287. — *L'Inst.*, 1862, p. 262. — *Bull. Soc. ch.*, 1862, p. 95. — *Ann. de ch. et ph.*, t. CXXV, p. 95. — *Ch. centr.*, 1863, p. 208.

2. L. Michel, *Bull. Soc. min.*, 1879, p. 142.

offrent des macles semblables à celles des cristaux de Schlaggenwald. Les couleurs de polarisation sont très vives et on y observe, en inclusions, de longs prismes aiguillés d'un noir opaque (wolfram).

M. Cossa[1] a obtenu la scheelite en fondant un mélange de chlorure de sodium et de tungstate de chaux, préparé par voie de double décomposition. En ajoutant une petite quantité de didyme, M. Cossa produit une scheelite qui offre les raies d'absorption du minéral naturel de Traversella.

Application à la géologie. — La scheelite appartient au cortège de minéraux qui accompagnent l'étain dans les filons de quartz ou de pegmatite. Elle peut y avoir pris naissance par une réaction analogue à celle qui a été utilisée par M. Debray, quand il a fait passer au rouge un courant d'acide chlorhydrique sur un mélange de tungstate de chaux et de chaux vive.

WOLFRAM (FeO, MnO)[1] WO^3.

1861. Geuther et Forsberg. — **1862.** Debray.

Le wolfram renferme toujours une certaine quantité de manganèse qui fait partie de sa constitution, à titre d'élément chimique isomorphe du fer. **Geuther et Forsberg**[2] ont cherché à reproduire des tungstates ayant cette composition complexe. A cet effet, ils ont fondu des mélanges

1. Cossa, *Ricerche chim. e mic. su roccie e min. d'Italia.* Turin. Vincenzo Bona. 1881.
2. Geuther et Forsberg, *Gött. gelehr. Anz.*, 1861, p. 225. — *Ann. de ch. pharm.*, t. CXX, p. 270.

de chlorure de manganèse, de chlorure de fer et de tungstate de soude, avec un excès de chlorure de sodium, et obtenu des cristaux ayant la forme du wolfram, avec des compositions identiques à celles des diverses variétés de ce minéral que l'on rencontre dans la nature.

En employant le chlorure de manganèse sans chlorure de fer, ils ont obtenu un wolfram manganeux en gros cristaux de couleur grenat, dont le poids spécifique était égal à 6, 7.

Avec le chlorure de fer seul, ils ont formé un wolfram ferrugineux en beaux cristaux d'un noir violacé dont le poids spécifique était égal à 7, 1.

Les mélanges des deux chlorures donnent des cristaux bruns, si le manganèse domine, noirâtres, si c'est le fer.

Le tableau ci-dessous fournit la liste des produits obtenus par MM. Geuther et Forsberg :

Mn	O,WO^3	wolfram manganeux (*hübnérite*).
(7Mn, Fe)	O,WO^3	identique au wolfram de Schlaggenwald.
(2Mn, Fe)	O,WO^3	
(2Mn, 3Fe)	O,WO^3	identique à des échantillons de Limoges et du Cumberland.
(Mn, 4Fe)	O,WO^3	» » d'Ehrenfriedersdorf et de Neudorf.
(Mn, 7Fe)	O,WO^3	» » de Neudorf.
Fe	O,WO^3	wolfram ferrugineux.

tungstates (MO, WO^3) de baryte, de zinc, de cadmium, de magnésie.

Quand on soumet, à haute température, un mélange d'acide tungstique et d'oxyde de fer à l'action d'un courant d'acide chlorhydrique, il se forme, comme l'a montré **M. Debray**[1], des cristaux d'acide tungstique, de fer oxydulé et de wolfram. Ces derniers sont brillants et de

1. Debray, *C. r.*, t. LV, 1862, p. 287. — *Bull. Soc. chim.* 1862, p. 95. — *Ann. de ch. et ph.* CXXV, p. 95.

grandes dimensions. Leur forme est celle du wolfram naturel, et leur composition est celle qui correspond à la formule théorique du tungstate de fer.

Nous avons examiné les cristaux de wolfram obtenus par M. **Michel**[1] en suivant la méthode de Geuther et Forsberg. Au microscope, les tungstates de fer, de fer et de manganèse sont opaques. Celui de manganèse est transparent, d'un jaune brun; comme les autres, il cristallise en longs prismes à pointements surbaissés. Les extinctions sont sensiblement longitudinales, quand les prismes sont couchés suivant leur longueur.

D'après M. Des Cloizeaux[2], l'allongement a lieu suivant l'arête $p\,h^1$. MM. **Groth** et **Arzruni**[3] ont vérifié que le wolfram et la hübnérite artificiels sont monocliniques; ils ont trouvé : à la hubnérite, les faces h^1, g^1, m, a^2; au wolfram purement ferrugineux les faces h^1, g^1, g^5, m, o^2, et parfois $b^{1/2}$, e^1, (d^1 $b^{1/3}$ g^1); au wolfram [($\frac{2}{5}$ Mn, $\frac{3}{5}$ Fe) O, WO^3], les faces h^1, g^1, m, e^1.

En outre, ils ont constaté que, dans la hübnérite artificielle, le plan des axes optiques est perpendiculaire à g^1; la bissectrice, comprise dans g^1, fait un angle de 17°52' avec l'arête h^1g^1, dans l'angle aigu h^1o^2; $2V = 75°$.

Application à la géologie. — Le principal gisement du wolfram est dans les filons stannifères, et dans les pegmatites auxquelles ils sont associés, avec le mispickel, la scheelite, le bismuth natif, etc. L'action de l'acide chlorhydrique sur l'acide tungstique amorphe et l'oxyde de fer est le seul procédé artificiel qui puisse rendre compte du gisement favori du wolfram.

1. Michel, laboratoire de M. Friedel, 1879.
2. Des Cloizeaux, *Ann. de ph. et ch.*, t. XIX, 1870, p. 168.
3. Groth et Arzruni, *Pogg. Ann.*, t. CLI, 1875, p. 235.

CUPROSCHEELITE (CuO, WO^3).

M. Michel[1] a obtenu le tungstate de cuivre en fondant ensemble un mélange de tungstate de soude et de chlorure de cuivre, avec du chlorure de sodium en excès. Les cristaux obtenus sont de petits prismes aciculaires d'un vert clair, polarisant vivement, et parfois disposés en faisceaux fibreux. Les extinctions sont longitudinales.

STOLZITE OU SCHEELITINE (PbO, WO^3).

1851. Manross. — **1851.** Geuther et Forsberg.

Manross[2] a reproduit artificiellement ce minéral en fondant un mélange de tungstate de soude et de chlorure de plomb. Après lessivage du culot formé, on recueille des cristaux brillants, d'un vert foncé, ayant la forme de pyramides quadratiques ou orthorhombiques, et dont l'angle est identique à celui des faces de la pyramide des cristaux de stolzite naturelle. Le poids spécifique du produit est égal à 8,23. La composition est celle du minéral naturel.

Geuther et Forsberg[3] ont montré que les cristaux de scheelite et de stolzite, produits par la méthode précédente, acquéraient des dimensions plus grandes, quand au mélange de tungstate de soude et de chlorure de plomb on ajoutait une certaine quantité de chlorure de sodium.

1. Michel, laboratoire de M. Friedel, 1879.
2. Manross, *Ann. de ch. et ph.*, t. LXXXII, p. 357. 1851.
3. Geuther et Forsberg, *Gött. gel. Anz.*, 1861, p. 225. — *Ann. de ch. et ph.*, t. CXX, p. 270.

GÉNÉRALITÉS SUR LES TUNGSTATES (RO, WO^3).

Dans les pages précédentes, on a vu que les tungstates anhydres ont été l'objet de nombreuses recherches de la part de divers savants; on doit à M. **Michel** une revision complète de ces produits. Il a montré que les tungstates se divisaient en deux catégories.

Tungstates quadratiques. — *Tungstates de baryte, de strontiane, de chaux* (**scheelite**) *de cérium, de zinc, de cadmium, de cuivre* (**cuproscheelite**), *de plomb* (**stolzite**), *de bismuth, de plomb et strontiane, de chaux et plomb.*

La plupart de ces produits se présentent en octaèdres à base carrée. Les tungstates de zinc, de cadmium, de cuivre et de plomb sont en prismes quadratiques allongés, celui de bismuth en lamelles nacrées aplaties.

Tungstates orthorhombiques et monocliniques. — *Tungstates de magnésie, de manganèse* (**hübnérite**), *de fer, de fer et manganèse* (**wolfram**), *de cobalt, de nickel, de nickel et cobalt, de magnésie et manganèse, de magnésie et fer, de magnésie et cobalt, de magnésie et nickel.*

VII

ACIDE MOLYBDIQUE — MOLYBDATES

MOLYBDITE (MoO^3).

Ce corps ne se présente dans la nature qu'en dépôts blancs, pulvérulents, d'apparence amorphe. Dans les laboratoires, on l'obtient en poudre cristalline orthorhombique, soit par oxydation du molybdène à l'air, soit par oxydation du sulfure de molybdène par l'acide nitrique.

Des cristaux de ce minéral artificiellement reproduit, étudiés par M. **Nordenskiöld** [1], présentaient les faces p, g^1, h^1, $a^{3/2}$, a^2, a^3. On a $pa^3 = 157°7'$, $pa^2 = 148°5'$, $pa^{3/2} = 140°3'$.

WULFÉNITE (PbO, MoO^3).

M. **Michel** [2] a obtenu ce minéral en chauffant du molybdate de soude avec du chlorure de plomb et du chlorure de sodium en excès. Les cristaux, mal formés, sont engagés dans un magma amorphe; ils polarisent dans les teintes vives: il est difficile de rapporter les extinctions à leurs formes mal définies.

1. Nordenskiöld, *Pogg. Ann.*, t. CXII, 1861, p. 160.
2. Michel, 1881, laboratoire de M. Friedel.

VIII

ACIDE BORIQUE — BORATES

SASSOLINE ($BO^3 + 3HO$).

L'acide borique hydraté s'obtient aisément à l'état de lamelles cristallines, quand on refroidit ses dissolutions saturées à chaud ou quand on les évapore. Ces lamelles sont constituées, comme celles du minéral naturel, par des cristaux tricliniques; l'aplatissement a lieu parallèlement à *p* et le contour hexagonal de la base est déterminé par les faces *m*, *t* et g^1.

BORACITE ($3MgO, 4BO^3 + \frac{1}{2}MgCl$).

1860. W. Heintz.

Pour obtenir ce sel cristallisé, M. **Heintz**[1] a fondu un mélange de 10 parties d'acide borique, 100 de chlorure de sodium, 180 de chlorure de magnésium et 5 d'un borate de magnésie, formé en chargeant d'acide borique, jusqu'à réaction acide, une dissolution bouillante de sulfate de magnésie. Le culot, après refroidissement, se montre

1. Heintz, *Pogg. Ann.*, t. CX, 1860, p. 613. — *N. J. f. Mineral.*, 1861, p. 81.

composé de deux sortes de cristaux, les uns prismatiques, les autres cubiques. Les premiers seuls se dissolvent à froid dans l'acide chlorhydrique. Le résidu est un sable cristallin, composé de petits octaèdres, possédant la composition de la boracite naturelle. Il serait intéressant de savoir si ces cristaux possèdent les propriétés optiques et le groupement de 12 pyramides orthorhombiques que présente la boracite naturelle.

Nous rappellerons, à ce propos, que M. Ditte[1] a obtenu, par voie sèche, en employant comme fondant le chlorure de la base, des borates de chaux, de strontiane, de baryte, de magnésie, et des borates doubles de magnésie et d'une des autres bases précitées. Ces sels sont bien cristallisés; leurs formules sont : $MO,2BO^3$ — $2MO,3BO^3$ — MO,BO^3 — $3MO,2BO^3$ et $3(MO + MgO),4BO^3$.

BORAX ($NaO,2BO^3 + 10HO$).

Ce sel cristallise facilement, avec la forme et la composition du tinkal naturel, quand on refroidit ou qu'on évapore sa dissolution faite à chaud. Il est en prismes monocliniques de 87°. On le prépare en grand dans l'industrie, au moyen de l'acide borique et du carbonate de soude.

1. Ditte, *C. R.*, t. LXXVII, 1873, p. 783 et 892.

IX

CARBONE — CARBONATES CHLORO-CARBONATES

CARBONE.

Graphite. — La cristallisation du carbone, sous forme de graphite, a lieu journellement dans l'industrie. Généralement le graphite se trouve engagé dans la fonte de fer, au sein de laquelle il était dissous avant sa cristallisation; parfois cependant il fait saillie dans des cavités drusiques[1]. L'insufflation d'un courant d'air rapide, à la surface de la fonte, amène quelquefois aussi l'enlèvement d'une véritable pluie de lamelles de graphite[2]. De là ces amas de paillettes qui ont été signalés dans les fentes des parois de certains hauts fourneaux.

On trouve aussi fréquemment des dépôts pulvérulents graphiteux entre la fonte et le laitier qui la surmonte. Les dimensions des lamelles de graphite, observées dans la fonte, atteignent jusqu'à deux centimètres; leur éclat est au moins aussi vif que celui du graphite naturel.

En général, toutes les fois que du charbon est porté à très haute température, à l'abri de l'air, il se transforme en graphite. C'est ainsi que ce corps s'observe dans le charbon des cornues à gaz, dans celui qui se trouve

1. Bischoff, *Lehrb. d. ch. Geo.*, t. II, p. 63.
2. *J. f. Min.*, p. 857, 1844.

transporté entre les pôles d'une batterie électrique[1], et dans les dépôts que laissent les composés organiques lorsqu'on les fait passer à travers un tube de porcelaine chauffé au rouge, etc. Le diamant lui-même, fortement chauffé par un courant électrique, se transforme en graphite, comme l'a constaté **Jacquelin**[2].

Nous avons observé que, dans un creuset de charbon de cornue porté longtemps à une très haute température, les paillettes de graphite s'étaient développées et surtout orientées en couches parallèles aux parois du creuset.

Diamant. — Plusieurs physiciens ont successivement cru avoir reproduit artificiellement le diamant en fondant le graphite à l'aide de courants électriques. Nous nous contenterons de rappeler ici les expériences de **Silliman**[3], de **Cagniard-Latour**[4], de **Gannal**[5], de **Despretz**[6]. Les produits cristallisés, dont ces savants ont constaté la formation, étaient des silicates.

La découverte d'inclusions liquides dans le diamant, faite par **Brewster**[7], et celle de produits altérables à haute température, faite par **Göppert**[8], ont démontré que le diamant avait dû naître à des températures peu différentes de la température ordinaire. Ces faits ont ensuite donné lieu à l'énonciation d'hypothèses plus ou moins ingénieuses, mais dénuées de toute valeur jusqu'au moment où elles auront reçu la sanction de l'expérience[9].

1. Foucault, *Pogg. Ann.*, t. LXIII, p. 475.
2. Jacquelin, *C. R.*, t. XXIV, p. 1050. — *Ann. de Ph. et Ch.*, t.XX, p. 459.
3. Silliman, *Schweigg. J. Ch. Ph.*, t. XXXIX, p. 87. 1823.
4. Cagniard-Latour, *J. de Ch.*, t. V, p. 38. — *Pogg. Ann.*, t. XC, p. 535, 1828.
5. Gannal, *Schweigg. J. Ch. Ph.*, t. III, p. 468, 1828.
6. Despretz, *C. R.*, t. XXXVII, p. 369. — *L'Inst.*, p. 303, 1853. — *Ann de Ph. et Ch.*, t. LXXXVIII, p. 226.
7. Brewster, *Ph. Mag.*, t. XXV, p. 174, 1863.
8. Göppert, *J. f. Min.*, p. 198, 1864.
9. De Chancourtois, *C. R.*, t. LXIII, p. 22.

Dernièrement, la reproduction artificielle du diamant a été annoncée comme réalisée par **M. Kannay**, l'aide d'un procédé dont l'auteur a gardé le secret. Jusqu'à plus ample information, malgré les renseignements favorables fournis par M. Maskeline, il y a lieu de douter du succès obtenu.

CALCITE ET ARAGONITE ($CaOCO^2$).

1801. James Hall. — **1837**. Gustave Rose. — **1852**. Becquerel. **1881**. Hautefeuille et Margottet.

Pour obtenir le carbonate de chaux cristallisé sous forme rhomboédrique, il suffit d'abandonner à l'évaporation à l'air libre une dissolution de bicarbonate de chaux. Ce phénomène est depuis longtemps connu des chimistes et des géologues, auxquels il a servi pour expliquer l'origine des travertins et des sables calcaires cristallins que la nature produit encore de nos jours.

Bien que ces données, appuyées d'ailleurs par l'observation géologique, montrent la prédominance de la voie humide dans la production naturelle de la calcite, cependant les premiers essais de synthèse de ce minéral ont été pratiqués par la voie sèche.

Hutton avait émis l'idée que le marbre devait son origine à l'influence combinée d'une température élevée et d'une forte pression. Dès 1790, **James Hall** lui proposa d'inaugurer des expériences à l'appui de cette hypothèse; mais Hutton, craignant l'insuccès d'essais de ce genre, s'y montra peu favorable. C'est seulement après sa mort, en 1798, qu'elles furent mises en train. La difficulté d'ob-

1. James Hall, *Edinb. roy. Soc. Trans.*, 1801.

tenir des appareils à fermeture hermétique en empêcha d'abord le succès. Le 31 mars 1801, James Hall transforma pour la première fois un morceau de craie en calcite grenue, translucide. Quelques jours après, il obtint une masse complètement cristalline, à cassures rhomboïdales, d'environ un centimètre carré de surface. Enfin, un perfectionnement, apporté au dispositif expérimental, lui fournit un marbre parfait, translucide, rempli de facettes, dont on distinguait à la loupe les formes anguleuses faisant saillie dans les cavités du culot.

Plusieurs fois, Hall introduisit de l'eau avec la matière calcaire employée et obtint encore du marbre.

Cette expérience, répétée plus tard par **Bischof** et ensuite par **G. Rose** avec l'aide de **Siemens**[1], échoua d'abord entre les mains de ces observateurs. L'imperfection des appareils employés rendait tout succès impossible. Cependant, G. Rose et Siemens ayant un peu amélioré le mode de fermeture des tubes qu'ils employaient, ont fini par réussir à confirmer les résultats de Hall. Ils ont transformé au rouge de l'aragonite et de la craie en une masse de calcite semblable à du marbre. La fermeture incomplète des appareils dont ils se sont servis, même dans leurs expériences fructueuses, montre que la production du marbre artificiel peut s'opérer encore, lorsque l'acide carbonique, provenant de la décomposition du carbonate de chaux employé, s'échappe partiellement au dehors. Pour que l'opération réussisse, il suffit que l'acide carbonique, mis en liberté, demeure dans le vase servant à l'expérience avec une tension suffisante pour empêcher la décomposition complète du carbonate de chaux.

Les expériences de **Faraday** et de **Gay-Lussac** ont en effet démontré que le calcaire peut se transformer par-

1. G. Rose et Siemens, *Pogg. Ann.*, t. CXIII, p. 565. — *Berl. Ac. Ber.*, 1862, p. 669. — *Zeit. d. d. geol. Ges.*, 1863, p. 456. — *J. f. pr. Ch.*, 1863, t. LXXXVIII. p. 256. — *J. f. Min.*, 1863 et 1864, p. 464.

Dernièrement, la reproduction artificielle du diamant a été annoncée comme réalisée par **M. Kannay**, l'aide d'un procédé dont l'auteur a gardé le secret. Jusqu'à plus ample information, malgré les renseignements favorables fournis par M. Maskeline, il y a lieu de douter du succès obtenu.

CALCITE ET ARAGONITE ($CaOCO^2$).

1801. James Hall. — **1837**. Gustave Rose. — **1852**. Becquerel. **1881**. Hautefeuille et Margottet.

Pour obtenir le carbonate de chaux cristallisé sous forme rhomboédrique, il suffit d'abandonner à l'évaporation à l'air libre une dissolution de bicarbonate de chaux. Ce phénomène est depuis longtemps connu des chimistes et des géologues, auxquels il a servi pour expliquer l'origine des travertins et des sables calcaires cristallins que la nature produit encore de nos jours.

Bien que ces données, appuyées d'ailleurs par l'observation géologique, montrent la prédominance de la voie humide dans la production naturelle de la calcite, cependant les premiers essais de synthèse de ce minéral ont été pratiqués par la voie sèche.

Hutton avait émis l'idée que le marbre devait son origine à l'influence combinée d'une température élevée et d'une forte pression. Dès 1790, **James Hall** lui proposa d'inaugurer des expériences à l'appui de cette hypothèse; mais Hutton, craignant l'insuccès d'essais de ce genre, s'y montra peu favorable. C'est seulement après sa mort, en 1798, qu'elles furent mises en train. La difficulté d'ob-

1. James Hall, *Edinb. roy. Soc. Trans.*, 1801.

tenir des appareils à fermeture hermétique en empêcha d'abord le succès. Le 31 mars 1801, James Hall transforma pour la première fois un morceau de craie en calcite grenue, translucide. Quelques jours après, il obtint une masse complètement cristalline, à cassures rhomboïdales, d'environ un centimètre carré de surface. Enfin, un perfectionnement, apporté au dispositif expérimental, lui fournit un marbre parfait, translucide, rempli de facettes, dont on distinguait à la loupe les formes anguleuses faisant saillie dans les cavités du culot.

Plusieurs fois, Hall introduisit de l'eau avec la matière calcaire employée et obtint encore du marbre.

Cette expérience, répétée plus tard par **Bischof** et ensuite par **G. Rose** avec l'aide de **Siemens**[1], échoua d'abord entre les mains de ces observateurs. L'imperfection des appareils employés rendait tout succès impossible. Cependant, G. Rose et Siemens ayant un peu amélioré le mode de fermeture des tubes qu'ils employaient, ont fini par réussir à confirmer les résultats de Hall. Ils ont transformé au rouge de l'aragonite et de la craie en une masse de calcite semblable à du marbre. La fermeture incomplète des appareils dont ils se sont servis, même dans leurs expériences fructueuses, montre que la production du marbre artificiel peut s'opérer encore, lorsque l'acide carbonique, provenant de la décomposition du carbonate de chaux employé, s'échappe partiellement au dehors. Pour que l'opération réussisse, il suffit que l'acide carbonique, mis en liberté, demeure dans le vase servant à l'expérience avec une tension suffisante pour empêcher la décomposition complète du carbonate de chaux.

Les expériences de **Faraday** et de **Gay-Lussac** ont en effet démontré que le calcaire peut se transformer par-

1. G. Rose et Siemens, *Pogg. Ann.*, t. CXIII, p. 565. — *Berl. Ac. Ber.*, 1862, p. 669. — *Zeit. d. d. geol. Ges.*, 1863, p. 456. — *J. f. pr. Ch.*, 1863, t. LXXXVIII. p. 256. — *J. f. Min.*, 1863 et 1864, p. 464.

Dernièrement, la reproduction artificielle du diamant a été annoncée comme réalisée par **M. Kannay**, l'aide d'un procédé dont l'auteur a gardé le secret. Jusqu'à plus ample information, malgré les renseignements favorables fournis par M. Maskeline, il y a lieu de douter du succès obtenu.

CALCITE ET ARAGONITE ($CaOCO^2$).

1801. James Hall. — **1837**. Gustave Rose. — **1852**. Becquerel. **1881**. Hautefeuille et Margottet.

Pour obtenir le carbonate de chaux cristallisé sous forme rhomboédrique, il suffit d'abandonner à l'évaporation à l'air libre une dissolution de bicarbonate de chaux. Ce phénomène est depuis longtemps connu des chimistes et des géologues, auxquels il a servi pour expliquer l'origine des travertins et des sables calcaires cristallins que la nature produit encore de nos jours.

Bien que ces données, appuyées d'ailleurs par l'observation géologique, montrent la prédominance de la voie humide dans la production naturelle de la calcite, cependant les premiers essais de synthèse de ce minéral ont été pratiqués par la voie sèche.

Hutton avait émis l'idée que le marbre devait son origine à l'influence combinée d'une température élevée et d'une forte pression. Dès 1790, **James Hall** lui proposa d'inaugurer des expériences à l'appui de cette hypothèse; mais Hutton, craignant l'insuccès d'essais de ce genre, s'y montra peu favorable. C'est seulement après sa mort, en 1798, qu'elles furent mises en train. La difficulté d'ob-

1. James Hall, *Edinb. roy. Soc. Trans.*, 1801.

tenir des appareils à fermeture hermétique en empêcha d'abord le succès. Le 31 mars 1801, James Hall transforma pour la première fois un morceau de craie en calcite grenue, translucide. Quelques jours après, il obtint une masse complètement cristalline, à cassures rhomboïdales, d'environ un centimètre carré de surface. Enfin, un perfectionnement, apporté au dispositif expérimental, lui fournit un marbre parfait, translucide, rempli de facettes, dont on distinguait à la loupe les formes anguleuses faisant saillie dans les cavités du culot.

Plusieurs fois, Hall introduisit de l'eau avec la matière calcaire employée et obtint encore du marbre.

Cette expérience, répétée plus tard par **Bischof** et ensuite par **G. Rose** avec l'aide de **Siemens**[1], échoua d'abord entre les mains de ces observateurs. L'imperfection des appareils employés rendait tout succès impossible. Cependant, G. Rose et Siemens ayant un peu amélioré le mode de fermeture des tubes qu'ils employaient, ont fini par réussir à confirmer les résultats de Hall. Ils ont transformé au rouge de l'aragonite et de la craie en une masse de calcite semblable à du marbre. La fermeture incomplète des appareils dont ils se sont servis, même dans leurs expériences fructueuses, montre que la production du marbre artificiel peut s'opérer encore, lorsque l'acide carbonique, provenant de la décomposition du carbonate de chaux employé, s'échappe partiellement au dehors. Pour que l'opération réussisse, il suffit que l'acide carbonique, mis en liberté, demeure dans le vase servant à l'expérience avec une tension suffisante pour empêcher la décomposition complète du carbonate de chaux.

Les expériences de **Faraday** et de **Gay-Lussac** ont en effet démontré que le calcaire peut se transformer par-

1. G. Rose et Siemens, *Pogg. Ann.*, t. CXIII, p. 565. — *Berl. Ac. Ber.*, 1862, p. 669. — *Zeit. d. d. geol. Ges.*, 1863, p. 456. — *J. f. pr. Ch.*, 1863, t. LXXXVIII. p. 256. — *J. f. Min.*, 1863 et 1864, p. 464.

tiellement en marbre sous la pression ordinaire, pourvu qu'on le maintienne dans une atmosphère d'acide carbonique, et **M. Debray**[1] a donné l'explication du fait, en le rapportant à des phénomènes de dissociation et en démontrant que l'acide carbonique joue, dans tous ces phénomènes, le rôle d'un vrai minéralisateur.

D'après ses remarquables expériences, la décomposition du spath est nulle à 350°; à 860°, l'acide carbonique s'en échappe avec une tension de 85^{mm} de mercure; enfin, à 1040°, il atteint une tension de 520^{mm}. Il en résulte qu'on peut chauffer du spath à 1040°, dans un courant d'acide carbonique à la pression atmosphérique, sans l'altérer aucunement. On comprend donc qu'à des températures plus élevées et susceptibles de variations, dans une atmosphère d'acide carbonique, à la pression ordinaire, il puisse y avoir des décompositions et des recompositions successives, et par suite un changement de structure du calcaire employé.

Nous ne pouvons mieux faire que de citer l'appréciation de Henri Sainte-Claire Deville sur le caractère de ces expériences : « On peut assimiler le carbonate de chaux, « chauffé dans une enceinte limitée et à température fixe, « à une substance volatile qui émettrait une certaine « quantité de vapeur, sa tension étant constante quand « la température ne varie pas et, en tous cas, indépen- « dante de la pression extérieure. Le carbonate de chaux « obéit donc dans sa décomposition aux lois de la vapo- « risation de l'eau[2]. ».

G. Rose a[3] montré que, par voie humide, on pouvait dans une même dissolution obtenir des cristaux de calcite et d'aragonite, qui se déposent en des points différents du vase, suivant les conditions diverses de tempéra-

1. Debray, *C. R.*, t. LXIV, 1867, p. 603. — t. LXVI, 1868, p. 194.
2. Rapport de Henri Sainte-Claire Deville, *C. R.*, t. LXXVI, 1873, p. 117.
3. G. Rose, *Pogg Ann.*, 1837, t. XII, p. 533. — *J. f. Min.*, 1838, p. 332.

ture du liquide. De ses nombreuses expériences il ressort aussi : 1° que l'aragonite semble se former exclusivement par une évaporation rapide à chaud; 2° que la calcite peut se produire par décomposition du bicarbonate de chaux en dissolution, aussi bien à chaud qu'à froid.

Quand on évapore à la température ordinaire une dissolution de bicarbonate de chaux contenue dans un vase largement ouvert, les parois du vase et la surface du liquide se couvrent d'une croûte, formée de cristaux de calcite. Au fond du liquide, il se dépose une couche granuleuse (composée probablement de cristaux de calcite agglomérés).

Si l'évaporation se fait lentement dans un vase incomplètement bouché, il se dépose des cristaux de calcite assez volumineux pour que leurs angles soient susceptibles d'être mesurés au goniomètre. On y constate les faces du rhomboèdre primitif et celles du pinacoïde.

Quand l'évaporation a lieu à chaud, à une douce température, la surface du liquide se recouvre de cristaux d'aragonite, et le fond du vase de rhomboèdres de calcite.

Si l'on mélange deux dissolutions, l'une de chlorure de calcium et l'autre d'un carbonate alcalin, il se fait un précipité grenu qui, abandonné à lui-même en présence du liquide, se transforme peu à peu en un dépôt de petits cristaux rhomboédriques de calcite.

Les expériences dont il vient d'être question ont été effectuées par G. Rose en 1837; les suivantes ont été faites par le même savant en 1859[1].

Quand on fond un mélange de chlorure de calcium et de carbonate de soude, et qu'on reprend par l'eau la masse résultant de la fusion, on obtient un résidu grenu qui se change avec le temps en cristaux de calcite. Même

1. G. Rose, *Berl. Ac. Ber.*, 1860, p. 365 et 375. — *Pogg. Ann.*, t. CXI, p. 156.— *J. f. pr. Ch.*, t. LXXXI, p. 383, et t. LXXXII, p. 351. — *J. f. Min.*, 1860, p. 705 et 719. — *L'Inst.*, 1860, p. 416.

résultat quand on remplace le chlorure de calcium par le carbonate de chaux.

Une dissolution de chlorure de calcium, décomposée à chaud par le carbonate de soude ou d'ammoniaque, donne un précipité qui ne tarde pas à devenir cristallin et à montrer les propriétés de la calcite. Quand on fait intervenir le carbonate de soude, ce changement est rendu plus rapide, si l'on agit à la température de l'ébullition; quand on opère avec le carbonate d'ammoniaque, ou plutôt avec l'ammoniaque en présence d'un courant d'acide carbonique, il est préférable d'agir à une température moins élevée.

Ces expériences démontrent déjà que la calcite peut cristalliser à chaud. Pour confirmer cette donnée, G. Rose a décomposé à chaud une dissolution de bicarbonate de chaux contenue dans un long vase cylindrique. La surface offerte à l'évaporation était peu étendue. Dans ces conditions, il ne se forme que de la calcite.

On voit que ces expériences ne sont pas susceptibles de trancher définitivement la question des conditions dans lesquelles s'opère la cristallisation sous forme de calcite ou d'aragonite.

Becquerel[1] a reproduit la calcite en faisant agir lentement une dissolution étendue de bicarbonate de soude sur un morceau de gypse. Une double décomposition s'opère et le morceau de gypse se montre, au bout de quelque temps, couvert de petits cristaux de calcite.

Le même expérimentateur[2] est arrivé à un résultat analogue, en faisant réagir une dissolution étendue de silicate de potasse sur un morceau de gypse en présence de l'acide carbonique de l'air. L'opération s'effectue dans

1. Becquerel, *Comptes rendus*, t. XXXIV, p. 29. — *L'Inst.*, 1852, p. 27. — *J. f. pr. Ch.*, t. LV, p. 337. — *Ann. Ch. Ph.*, t. LXXXIV, p. 199.
2. Becquerel, *C. R.*, t. XXXVI, p. 207. — *L'Inst.*, 1853, p. 41. — *J. f. pr. Ch.*, t. LIX, p. 7. — *Edinb. new Phil. J.*, t. LV, p. 190.

un flacon imparfaitement bouché, de sorte que l'acide carbonique de l'air réagit très lentement sur le silicate alcalin. Au bout de plusieurs mois, on trouve le morceau de gypse recouvert de cristaux de calcite et d'un enduit de silice hydratée; la dissolution ne retient plus que du carbonate de potasse.

Becquerel a montré en outre que, dans sa première expérience, si l'on remplace la dissolution de bicarbonate de soude par une lessive de potasse caustique, soumise à l'action lente de l'acide carbonique de l'air, on peut entièrement transformer en calcite le morceau de gypse renfermé dans le flacon.

Dans cette même expérience, si la dissolution de carbonate de soude est concentrée, il se forme de l'aragonite, surtout si l'on opère en vase clos à la température de 100° à 150°.

Dans une série d'expériences encore inédites, MM. **Hautefeuille** et **Margottet** ont obtenu plusieurs carbonates cristallisés et notamment la calcite, à l'aide d'un dispositif qui rappelle la circulation souterraine des sources hydrothermiques et les conditions probables de remplissage d'un grand nombre de filons concrétionnés. Ils font circuler lentement une dissolution saturée de bicarbonate, dans de longs tubes doucement chauffés en quelques-uns de leurs points. En ces points mêmes, s'opère un dépôt de cristaux qui finit par obstruer le tube.

Application à la géologie. — Dans la plupart des cas, la calcite et l'aragonite naturelles paraissent résulter d'une décomposition de dissolutions de bicarbonate de chaux plus ou moins concentrées et plus ou moins chaudes. Les cristaux formés affectent la forme rhomboédrique ou la forme orthorhombique, suivant la température à laquelle s'est opérée la cristallisation. La célèbre expérience de

Dernièrement, la reproduction artificielle du diamant a été annoncée comme réalisée par **M. Kannay**, l'aide d'un procédé dont l'auteur a gardé le secret. Jusqu'à plus ample information, malgré les renseignements favorables fournis par M. Maskeline, il y a lieu de douter du succès obtenu.

CALCITE ET ARAGONITE ($CaOCO^2$).

1801. James Hall. — **1837.** Gustave Rose. — **1852.** Becquerel. **1881.** Hautefeuille et Margottet.

Pour obtenir le carbonate de chaux cristallisé sous forme rhomboédrique, il suffit d'abandonner à l'évaporation à l'air libre une dissolution de bicarbonate de chaux. Ce phénomène est depuis longtemps connu des chimistes et des géologues, auxquels il a servi pour expliquer l'origine des travertins et des sables calcaires cristallins que la nature produit encore de nos jours.

Bien que ces données, appuyées d'ailleurs par l'observation géologique, montrent la prédominance de la voie humide dans la production naturelle de la calcite, cependant les premiers essais de synthèse de ce minéral ont été pratiqués par la voie sèche.

Hutton avait émis l'idée que le marbre devait son origine à l'influence combinée d'une température élevée et d'une forte pression. Dès 1790, **James Hall** lui proposa d'inaugurer des expériences à l'appui de cette hypothèse; mais Hutton, craignant l'insuccès d'essais de ce genre, s'y montra peu favorable. C'est seulement après sa mort, en 1798, qu'elles furent mises en train. La difficulté d'ob-

1. James Hall, *Edinb. roy. Soc. Trans.*, 1801.

tenir des appareils à fermeture hermétique en empêcha d'abord le succès. Le 31 mars 1801, James Hall transforma pour la première fois un morceau de craie en calcite grenue, translucide. Quelques jours après, il obtint une masse complètement cristalline, à cassures rhomboïdales, d'environ un centimètre carré de surface. Enfin, un perfectionnement, apporté au dispositif expérimental, lui fournit un marbre parfait, translucide, rempli de facettes, dont on distinguait à la loupe les formes anguleuses faisant saillie dans les cavités du culot.

Plusieurs fois, Hall introduisit de l'eau avec la matière calcaire employée et obtint encore du marbre.

Cette expérience, répétée plus tard par **Bischof** et ensuite par **G. Rose** avec l'aide de **Siemens**[1], échoua d'abord entre les mains de ces observateurs. L'imperfection des appareils employés rendait tout succès impossible. Cependant, G. Rose et Siemens ayant un peu amélioré le mode de fermeture des tubes qu'ils employaient, ont fini par réussir à confirmer les résultats de Hall. Ils ont transformé au rouge de l'aragonite et de la craie en une masse de calcite semblable à du marbre. La fermeture incomplète des appareils dont ils se sont servis, même dans leurs expériences fructueuses, montre que la production du marbre artificiel peut s'opérer encore, lorsque l'acide carbonique, provenant de la décomposition du carbonate de chaux employé, s'échappe partiellement au dehors. Pour que l'opération réussisse, il suffit que l'acide carbonique, mis en liberté, demeure dans le vase servant à l'expérience avec une tension suffisante pour empêcher la décomposition complète du carbonate de chaux.

Les expériences de **Faraday** et de **Gay-Lussac** ont en effet démontré que le calcaire peut se transformer par-

1. G. Rose et Siemens, *Pogg. Ann.*, t. CXIII, p. 565. — *Berl. Ac. Ber.*, 1862, p. 669. — *Zeit. d. d. geol. Ges.*, 1863, p. 456. — *J. f. pr. Ch.*, 1863, t. LXXXVIII. p. 256. — *J. f. Min.*, 1863 et 1864, p. 464.

tion de dolomie formée augmente avec la température.

Application à la géologie. — La dolomie constitue souvent une roche métamorphique. De même que dans les expériences de reproduction artificielle, elle paraît résulter, dans la nature, de la réaction exercée par une dissolution d'un sel de magnésie sur le carbonate de chaux, à une température supérieure à la température ordinaire et probablement sous pression.

GIOBERTITE OU MAGNÉSITE (MgO, CO^2).

1851. Senarmont. — **1860.** H. Rose. — **1866.** Sterry-Hunt.

Sénarmont[1] a préparé ce sel cristallisé en chauffant, en vase clos, à 160°, un mélange de deux dissolutions, l'une de sulfate de magnésie, l'autre de carbonate de soude, ou bien encore, en traitant de même un mélange de deux dissolutions, l'une de chlorure de magnésium, l'autre d'un bicarbonate alcalin. Dans chacun de ces deux cas, on obtient une poudre cristalline, composée de petits rhomboèdres.

H. Rose[2] a signalé ce fait qu'en évaporant une dissolution de bicarbonate de magnésie, on produit un dépôt cristallin de giobertite orthorhombique.

D'après **M. Sterry-Hunt**[3] on obtient de la giobertite rhomboédrique en chauffant, en vase clos, du carbonate de magnésie récemment précipité, ou bien encore, en

1. Sénarmont, *C. R.*, t. XXXII, 1851, p. 409.
2. H. Rose, *Pogg. Ann.*, t. XLII, p. 366, 1860.
3 Sterry-Hunt, *Chemical and geological essays*, p 33, 90, 243.

chauffant à 200° du carbonate de chaux dans une dissolution de chlorure de magnésium ou de sulfate de magnésie (voir p. 205).

Application à la géologie. — La giobertite naturelle est, le plus souvent, un produit métamorphique. Elle peut, dans la nature, résulter d'une décomposition du bicarbonate de magnésie ou encore d'une décomposition à chaud d'un sel soluble de magnésie par un carbonate alcalin ou alcalino-terreux.

WITHÉRITE (BaO, CO^2).

1866. Frémy.

Le carbonate de baryte, cristallisé avec la forme orthorhombique appartenant à la withérite naturelle, se produit rapidement quand on précipite une dissolution de chlorure de barium avec une dissolution de carbonate d'ammoniaque.

Le même produit prend également naissance quand on suspend, dans une dissolution alcaline de baryte, un sachet contenant un morceau de baryte. L'acide carbonique est fourni par l'air en contact.

M. Frémy[1] a obtenu des cristaux de carbonate de baryte par double décomposition lente, en opérant sur des liqueurs de densités différentes, séparées par une cloison poreuse ou une feuille de papier non collé.

Application à la géologie. — La withérite est un minéral de filon; elle peut résulter dans la nature d'une double

1. Frémy. *C. R.*, t. LXIII, 1866. p. 714.

décomposition lente opérée par voie humide, suivant un procédé analogue à celui qui a été mis en œuvre par M. Frémy.

STRONTIANITE (SrO, CO^2).

Ce composé se produit, avec sa forme orthorhombique naturelle, quand on précipite une dissolution de chlorure de strontium à l'aide d'une dissolution chaude de carbonate d'ammoniaque. A froid, on n'obtient que des globules indistincts.

La strontianite prend encore naissance quand on suspend un sachet, renfermant de la strontiane, dans une dissolution de strontiane, en présence de l'air.

SMITHSONITE (ZnO, CO^2).

1851. Sénarmont. — **1859.** G. Rose.

Sénarmont[1] a obtenu le carbonate de zinc sous forme de granules cristallins, en chauffant en vase clos, à 180°, du sulfate de zinc et du bicarbonate de soude en dissolution. La cristallinité du produit est encore plus marquée quand on fait réagir, dans les mêmes conditions, du chlorure de zinc sur du bicarbonate de chaux.

G. Rose[2] a produit du carbonate de zinc en petits rhomboèdres visibles à la loupe, en décomposant à froid le

1. Sénarmont, *C. R.*, t XXXII, 1851, p. 409.
2. G. Rose, *Gmelin*, *Handb. der Chemie*, t. XIII, p. 15.

sulfate de zinc, en dissolution, par le bicarbonate de potasse employé en excès, et laissant séjourner le précipité durant quelques jours dans la dissolution qui l'a engendré. Il se forme d'abord un carbonate de zinc hydraté, qui perd son eau au bout de peu de temps, dans les conditions ci-dessus spécifiées.

Application à la géologie. — La smithsonite est un minéral de filons ou d'amas concrétionnés. Elle peut résulter d'une décomposition d'un sel soluble de zinc par un carbonate alcalin, suivant le procédé mis en pratique par G. Rose.

SIDÉROSE (FeO, CO^2).

1851. Sénarmont. — **1851.** Durocher.

Le fer spathique a été signalé par **M. Daubrée** comme produit accidentellement dans les substructions des thermes de Bourbon-L'Archambault. Ce minéral paraît s'y être formé par une double décomposition du sulfate de fer par le carbonate de soude de l'eau minérale, à la température de 52°.

Le carbonate de fer cristallisé a été reproduit artificiellement par **Sénarmont**[1] en chauffant en présence de l'eau, en vase clos, à 180°, des mélanges de sels susceptibles de l'engendrer par réaction mutuelle. Sénarmont a ainsi employé successivement : 1° le sulfate de fer avec le carbonate de soude; 2° le chlorure de fer avec le carbonate de chaux en fragments. Après un à deux jours, on recueille, dans le tube ayant servi à l'expérience, un sable

1. Sénarmont, *C. R.*, t. XXXII, 1851, p. 409.

cristallin, composé de petits rhomboèdres translucides, légèrement altérables à l'air et lentement attaquables aux acides.

Durocher[1] a obtenu le fer spathique en cristaux demi-transparents gris clair, en opérant au rouge dans un canon de fusil, par la réaction du carbonate d'ammoniaque sur le protochlorure de fer.

Application à la géologie. — La sidérose est un minéral de filon concrétionné. Elle accompagne fréquemment la galène, la chalcopyrite, la cassitérite. On la trouve aussi dans les filons de granulite, associée au rutile, à la tourmaline, etc.

L'expérience de Durocher, et mieux encore celle de Sénarmont, peuvent expliquer la plupart de ses gisements.

CÉRUSE (PbO, CO^2).

1853. Dreveraann. — **1866.** Becquerel. — **1866.** Frémy.

Ce minéral a été trouvé par **M. Daubrée**[2] à la surface d'objets en plomb, enfouis dans les fondations des thermes de Bourbonne-les-Bains. Il s'observe aussi en petits cristaux sur une lame de plomb, qui se trouve dans la collection des produits de **Becquerel** au Muséum, et qui provient du tombeau du roi Théodoric.

Von Dechen[3] a trouvé du carbonate de plomb cristallisé dans des vieilles galeries de la mine de plomb du

1. Durocher, *C. R.*, t. XXXII, 1851, p. 823.
2. Daubrée, *Géol. exp.*, p. 79.
3. Von Dechen, *Niederrhein Ges. f. Nat. K.*, 1857. — *N. J. f. Min.*, 1858, p. 216.

Bleiberg près Commern. Cette reproduction accidentelle doit être attribuée à une décomposition, à l'air, de bicarbonate de plomb en solution.

On obtient facilement un dépôt cristallin de ce sel en précipitant une dissolution d'acétate de plomb par un courant d'acide carbonique.

Drevermann[1] a produit de beaux cristaux orthorhombiques de céruse en faisant réagir l'une sur l'autre, par voie de diffusion, deux dissolutions, l'une de carbonate de potasse, l'autre de nitrate de plomb. Les deux dissolutions en question sont placées dans des vases cylindriques, disposés à côté l'un de l'autre, dans un vase plus grand rempli d'eau.

Becquerel[2] a obtenu des cristaux de céruse par le contact prolongé de la galène avec une dissolution de bicarbonate de soude.

M. Frémy[3] a obtenu des cristaux de carbonate de plomb, par double décomposition lente, en opérant sur des liqueurs de densités différentes, séparées par une cloison poreuse, ou une feuille de papier non collé.

Application à la géologie. — La céruse est le plus souvent un minéral de filon; on l'observe aussi comme produit secondaire, provenant de l'altération de minerais de plomb. Le procédé de Becquerel explique particulièrement cette seconde sorte de gisement. Il est évident que la céruse naturelle peut aussi résulter, dans certains cas, de doubles décompositions lentement opérées.

1. Drevermann, *Ann. Ch. Pharm.*, t. LXXXVII, p. 120 et t. LXXXIX, 1853, p. 39.
2. Becquerel, *C. R.*, t. LXIII, 1866, p. 1.
3. Frémy, *C. R.*, t. LXIII, 1866, p. 714.

THERMONATRITE ($NaO, CO^2 + HO$).

Quand on refroidit une dissolution saturée de carbonate de soude, en ayant soin que sa température ne s'abaisse pas au-dessous de 25°, les cristaux qui se forment entre 25 et 37 degrés sont des prismes orthorhombiques de thermonatrite.

NATRON ($NaO, CO^2 + 10HO$).

Ce sel se produit en beaux cristaux monocliniques, quand on évapore lentement sa dissolution à une température peu élevée. Il s'obtient encore par refroidissement de ses dissolutions concentrées. Il est l'objet d'une importante fabrication industrielle.

URAO ($2NaO, 3CO^2 + 4HO$).

1857. Hermann.

Ce sel cristallise avec sa forme monoclinique naturelle, quand on fait bouillir une dissolution concentrée de bicarbonate de soude et qu'on l'abandonne ensuite au refroidissement, ou encore quand on l'évapore lentement à froid en présence d'un corps desséchant.

On l'obtient aussi en faisant évaporer lentement un mélange de deux dissolutions, l'une de carbonate neutre, l'autre de bicarbonate de soude dans de l'eau alcoolisée.

Enfin, **Hermann**[1] l'a produit en fondant un mélange de ces deux sels et exposant le culot formé à l'action de l'air humide. Au bout de quelque temps, le culot se change en un agrégat de cristaux d'urao.

GAYLUSSITE ($NaO, CO^2 + CaO, CO^2 + 5HO$).

1864. Fritzsche. — **1881.** Alph. Favre et Ch. Soret.

La gaylussite, carbonate double de soude et de chaux hydraté, a été reproduite pour la première fois par M. **Fritzsche**[2]. Le procédé consiste à chauffer longtemps du carbonate de chaux, récemment précipité, dans une solution concentrée de soude. Le même auteur a obtenu également la gaylussite en chauffant un mélange de dix parties, en volume, d'une dissolution de carbonate de soude avec une partie de chlorure de calcium. M. von Kokscharoff[3] a constaté l'identité des cristaux monocliniques obtenus avec ceux de la gaylussite naturelle. Quand la cristallisation est rapide, on observe les faces *m*, $b^{1/2}$, $d^{1/2}$. Dans une solution plus étendue, cristallisant lentement, on n'observe que les faces des hémipyramides.

MM. **Alph. Favre**[4] et **Soret** ont reproduit la gaylussite en mettant du carbonate de chaux dans une solution de silicate de soude, en présence de matières organiques. Les cristaux obtenus présentent les faces *p*, *m*, h^1, g^1, e^1 et b^1. Les angles ont pu être mesurés et sont identiques

1. Hermann, *Bull. Soc. Moscou*, t. XXX, 1857, p. 545. — *N. J. f. Min.*, 1859, p. 446.
2. Fritzche, *Ann. Ch. Pharm.* 1864, p. 583. — *J. pr. che.* XCIII, p. 339.
3. Kokscharoff, *Ac. de St-Pétersb.*, *Bull.*, t. VII, 1864, p. 580.
4. A. Favre et Ch. Soret, *B. Soc. Min.*, 1881, p. 168.

aux angles de l'espèce naturelle ; il est à remarquer que la face h^1 n'a pas été observée dans celle-ci.

Application à la géologie. — La gaylussite est un dépôt d'eaux minérales. Des doubles décompositions de sels de soude et de chaux peuvent, en présence de l'eau, lui donner naissance dans la nature.

AZURITE [$2(CuO, CO^2) + CuO, HO$.]

1859. Debray. — **1866.** Becquerel.

Ce minéral se rencontre, accidentellement reproduit, dans les mêmes conditions que la malachite, qu'il accompagne souvent.

Sa reproduction artificielle a été tentée par **Becquerel**[1] en même temps que celle de la malachite, en décomposant à 125°, sous pression, une dissolution de chlorure de cuivre à l'aide de fragments calcaires. Becquerel annonce qu'il a obtenu ainsi quelques concrétions mamelonnées d'azurite, au milieu d'un dépôt plus abondant de malachite.

Des agrégats cristallins d'azurite, beaucoup mieux développés, ont été produits par M. **Debray**[2] en faisant réagir à froid et en vase clos une dissolution d'azotate de cuivre sur un morceau de craie. Le carbonate de chaux transforme d'abord l'azotate de cuivre en azotate tribasique vert, avec dégagement d'acide carbonique, qui forme alors du bicarbonate de chaux. Ce sel réagit à son tour sur l'azotate tribasique et le transforme en cristaux mame-

1. Becquerel, *C. R.*, t. XLIV, 1857, p. 938.
2. Debray, *C. R.*, t. XLIX, 1859, p. 245. — *L'Inst*, 1859, p. 245.

lonnés d'azurite. La pression, exercée par l'acide carbonique dégagé, paraît nécessaire au succès de l'opération; mais elle n'a pas besoin d'être très élevée : deux à trois atmosphères suffisent. La chaleur, dit M. Debray, détruit l'azurite formée, ce qui explique l'insuccès des tentatives de Sénarmont pour obtenir ce sel et l'imperfection du premier résultat obtenu par Becquerel.

Les cristaux obtenus par M. Debray se montrent réunis sous forme de globules à surface hérissée, qui présentent les phénomènes d'une polarisation d'agrégat.

Dans une seconde série d'expériences faites à froid, avec intervention d'actions chimiques lentes, **Becquerel**[1] a produit de l'azurite nettement cristallisée en prismes monocliniques avec troncatures au sommet. Le procédé employé consiste à décomposer l'azotate $2CuO, AzO^5$ par la craie et le bicarbonate de soude.

Les Chinois produisent industriellement une poudre bleue, employée par eux comme matière colorante et composée de petits cristaux d'azurite, d'environ $0^{mm},1$ de long sur $0^{mm},05$ de large. Ces cristaux sont pour la plupart basés. Ils sont légèrement dichroïques dans les teintes bleues. Les extinctions se font sous un angle maximum d'environ 35°.

Application à la géologie. — L'azurite forme des dépôts concrétionnés dans les roches sédimentaires. Son gisement naturel s'explique par une décomposition de sels de cuivre solubles par le carbonate de chaux ou par un carbonate alcalin.

1. Becquerel, *C. R.*, t. LXIII, 1866, p. 1.

MALACHITE ($CuO, CO^2 + CuO, HO$).

La malachite se présente fréquemment, à l'état d'agrégats cristallins fibreux, à la surface des objets de cuivre ou de bronze qui ont été longtemps enfouis dans le sol.

Il est très facile d'obtenir des précipités grenus ou pulvérulents, ayant la couleur et la composition de ce minéral, mais jusqu'à présent aucun procédé n'a fourni de cristaux déterminables au microscope. Des expériences ingénieuses ont été cependant tentées par Sénarmont et par Becquerel ; ce sont les seules sur lesquelles nous nous arrêterons.

Sénarmont[1] a chauffé en vase clos, à 160°, un mélange de deux dissolutions, l'une de chlorure de cuivre, l'autre de bicarbonate de soude. Il a opéré de même à 225° sur une dissolution de chlorure de cuivre, renfermant des fragments de calcaire. Dans les deux cas, il a obtenu des dépôts pulvérulents de malachite.

Becquerel[2] a obtenu un dépôt compacte de malachite, en décomposant lentement la brochantite artificielle par le bicarbonate de soude. Il a aussi répété la seconde expérience de Sénarmont et obtenu, à la surface des fragments calcaires employés, un dépôt cristallin mamelonné de malachite.

1. Sénarmont, *Ann. Ph. Ch.*, t. XXXII, 1851, p. 129. — *C. R.*, t. XXXII, p. 409.
2. Becquerel, *C. R.*, t. XXXIV, 1852, p. 573.

PHOSGÉNITE ($PbO, CO^2 + PbCl$).

1881. Friedel et Sarasin.

La présence de la phosgénite a été signalée par **M. Daubrée**[1] à la surface d'objets en plomb enfouis longtemps dans le sol, dans les fondations des thermes de Bourbonne-les-Bains. Les cristaux recueillis sont des prismes à huit pans, à angles égaux, avec clivages parallèles à *p*. M. Daubrée a constaté qu'ils sont à un axe.

MM. Friedel et **Sarasin**[2] ont reproduit la phosgénite en chauffant à 180°, en tube scellé, en présence de l'eau, un mélange de carbonate et de chlorure de plomb. Ils ont ainsi obtenu des cristaux très nets, quadratiques, sous forme de lamelles carrées ou octogones.

Application à la géologie. — La phosgénite est un minéral du chapeau de fer des filons de galène. La reproduction synthétique, due à MM. Friedel et Sarasin, donne l'explication de sa formation dans la nature.

1. Daubrée, *Géol. expérim.*, p. 79.
2. Friedel et Sarasin, *Bull. Soc. Min.*, 1881, p. 176.

X

ALUMINE — ALUMINATES

CORINDON.

1837. Gaudin. — **1850.** Sénarmont. — **1851.** Ebelmen. — **1858.** Henri Sainte-Claire Deville et Caron. — **1865.** Debray. — **1865.** Hautefeuille. — **1869.** Gaudin. — **1877.** Frémy et Feil. — **1880.** Stanislas Meunier.

Ce minéral important a été reproduit un très grand nombre de fois par des méthodes variées.

Gaudin, le premier[1], a obtenu l'alumine en cristaux définis, en soumettant à une température élevée dans un creuset brasqué, soit l'alun de potasse, soit cet alun, avec addition de sulfate de potasse. Dans ce dernier cas, le sulfure de potassium provenant de la réaction, sert de dissolvant, et en reprenant par l'eau après refroidissement la masse saline formée, on recueille à l'état d'isolement des petits cristaux nets de corindon.

On y remarque au microscope un aplatissement marqué, parallèlement à la base ; ce sont de véritables lamelles hexagonales, présentant l'indication de trois systèmes de stries probablement rhomboédriques, et coupant en tous cas la face *p* parallèlement aux côtés du prisme. Comme impuretés, on observe quelques cristaux aiguillés

1. Gaudin, *C. R.*, t. IV, 1837, p. 999. — *Id.*, t. XLIV, 1857, p. 716.

à polarisation vive et extinction longitudinale, rappelant la sillimanite.

Un mode très remarquable de reproduction artificielle du corindon est celui qui a été mis en pratique par **Sénarmont**[1]. Il consiste, en effet, dans l'emploi de la voie humide. L'opération se fait en vase clos, à la température de de 350°. La matière employée est le chlorure d'aluminium ou l'azotate d'alumine en solution dans l'eau. Le corindon, résultant de l'opération, se présente en petits rhomboèdres, dont les arêtes sont tronquées tangentiellement.

La reproduction artificielle du corindon par **Ebelmen**[2] est l'un des plus beaux résultats obtenus par ce savant chimiste. Il l'a réalisée en fondant l'alumine avec un excès d'un dissolvant volatil à haute température. Quand ce dissolvant était le borax, les cristaux de corindon formés se trouvaient au fond du creuset et affectaient la forme de rhomboèdres basés. Quand le carbonate de baryte ou le carbonate de soude avaient été les fondants employés, le corindon produit se présentait en lamelles hexagonales ou dodécagonales. Les cristaux disséminés dans une masse vitreuse étaient aisément isolés à chaud par l'acide chlorhydrique. Ebelmen a constaté qu'ils rayaient la topaze et étaient inattaquables aux acides.

L'emploi de l'acide borique n'a fourni aucun résultat, ce qui montre que l'alcali du borax joue un rôle dans la production du minéral cherché.

Ebelmen a pu obtenir, par l'introduction de petites quantités d'oxydes, des corindons diversement colorés (rubis, saphir, etc.).

Nous n'avons eu entre les mains que le corindon produit au moyen des carbonates; il ressemble à celui de Gaudin et

1. Sénarmont, *C. R.*, t. XXXII, 1850, p. 762.
2. Ebelmen, *Ann. de Ph. et Ch.*, t. XXXIII, 1851, p. 34.

est surtout remarquable par l'existence des trois systèmes de stries à 120°. Cette apparence paraît due à des superpositions de petites lamelles hexagonales, empilées parallèlement les unes aux autres. Les inclusions vitreuses y sont très nombreuses et à formes très irrégulières. Les lamelles, couchées parallèlement à leur base, n'agissent pas sur la lumière polarisée, comme on pouvait le prévoir.

Ici encore, il y a, comme impureté, quelques indices d'un silicate d'alumine analogue à la sillimanite.

Henri Sainte-Claire Deville et **Caron** ont obtenu le corindon en grands et magnifiques cristaux[1], en décomposant à haute température le fluorure d'aluminium par l'acide borique. L'opération se fait dans un creuset de charbon de cornue. Le fluorure d'aluminium est déposé au fond du creuset, et l'acide borique est contenu dans une coupelle qui surmonte le fluorure. Les cristaux, qui se forment, sont des rhomboèdres basés, modifiés par les faces du prisme hexagonal. Leurs caractères optiques ont été vérifiés; ils sont à un axe et négatifs. Leur dureté est celle du corindon naturel. Pour les obtenir, il suffit d'une heure de chauffe au rouge blanc.

H. Deville et Caron ont pu donner à l'alumine cristallisée artificielle les couleurs du rubis, du saphir, du corindon vert. Il leur a suffi d'ajouter au fluorure d'aluminium de petites quantités de fluorure de chrome. Dans ces dernières expériences, l'opération doit être effectuée dans un creuset d'alumine. Le saphir et le rubis se produisent simultanément; il faut employer un excès de fluorure de chrome pour produire le corindon vert.

Nous y avons observé au microscope des inclusions vitreuses (acide borique amorphe) avec bulle de gaz, parfois disposées en couronnes. Les trois systèmes de stries

1. Henri Sainte-Claire Deville et Caron, *C. R.*, t. XLVI, 1858, p. 764.

observés sur les produits de Gaudin et d'Ebelmen, ne se montrent pas ici; par contre, on y voit de petites rosettes hexagonales et des arborisations superficielles brunes, probablement dues à la matière colorante introduite.

Il y a en outre, en assez grande abondance, les aiguilles à polarisation vive, à extinction longitudinale, qui ressemblent à la sillimanite.

M. Debray[1] a reproduit artificiellement le corindon en se servant de l'action exercée à haute température par l'acide chlorhydrique sur l'aluminate de soude. Il l'a encore obtenu en faisant passer, au rouge, un courant lent d'acide chlorhydrique sur un mélange de phosphate d'alumine et de chaux. Il se forme ainsi du corindon et du chlorophosphate de chaux.

M. Debray a enfin obtenu le corindon en fondant un mélange de phosphate d'alumine et de sulfate de potasse.

En faisant fonctionner l'acide fluorhydrique comme agent minéralisateur, au rouge vif, sur une colonne d'alumine, **M. Hautefeuille**[2] a fait cristalliser ce minéral. Les cristaux obtenus sont des lamelles hexagonales souvent creusées en trémies. Leurs caractères optiques et leur dureté sont celles du corindon de la nature. Plus l'opération est prolongée, plus les cristaux qui se produisent sont développés, les plus grands croissant rapidement aux dépens des petits. Ce procédé, dérivé de ceux de Henri Sainte-Claire Deville, nous paraît celui qui se rapproche le plus des conditions naturelles de production du corindon.

En 1869, **Gaudin**[3] a fondu l'alumine au chalumeau à gaz oxyhydrique, et a obtenu ainsi un globule à facettes cristallines, possédant la composition et la dureté du corindon naturel.

1. Debray, *Bull. Soc. chim.*, 1865.
2. Hautefeuille, *Ann. de Ph. et Ch.*, 1865, t. IV, p. 129.
3. Gaudin, *C. R.*, t. LXIX, 1869, p. 1342.

Enfin la reproduction en grand des diverses variétés d'alumine cristallisée (corindon, rubis, saphir, etc.) a été réalisée par MM. **Frémy** et **Feil**[1] en formant d'abord un aluminate fusible et décomposant ensuite cet aluminate, dans un second temps de l'opération, à l'aide d'une substance siliceuse. La double réaction s'effectue à la température du rouge vif. L'alumine s'isole lentement au sein du fondant produit et cristallise. Les auteurs du procédé attribuent la cristallisation de l'alumine à plusieurs causes agissant simultanément : « à la volatilisation « de la base qui est unie à l'alumine, à la réduction « de cette base par les gaz du fourneau, à la formation « d'un silicate fusible qui, par la combinaison de la si- « lice avec la base, isole l'alumine, à un phénomène de « liquation qui produit un silicate très fusible et de l'alu- « mine peu fusible. Tous ces cas, disent-ils, se sont « présentés dans nos essais, mais le déplacement de « l'alumine par la silice nous paraît être le procédé « le plus sûr pour opérer la cristallisation de l'alu- « mine. »

L'aluminate fusible dont il est question ci-dessus, est l'aluminate de plomb. On l'obtient en fondant dans un creuset de grès un mélange à poids égaux d'alumine et minium. Après refroidissement, on constate la séparation du culot en deux couches : l'une vitreuse formée de silicate de plomb, l'autre cristalline creusée de géodes remplies de beaux cristaux d'alumine cristallisée.

Le rubis s'obtient en ajoutant aux réactifs employés 2 à 3 pour 100 de bichromate de potasse, le saphir en employant concurremment un peu d'oxyde de cobalt.

Tous ces cristaux rayent le quartz et la topaze. Leur poids spécifique varie de 4,0 à 4,1. Ils possèdent les propriétés optiques du corindon naturel. Les rubis per-

1. Frémy et Feil, *C. R.*, t. LXXXV, 1877, p. 1029.

dent leur coloration rose par la chaleur et la reprennent par refroidissement.

MM. Frémy et Feil ont encore reproduit le rubis cristallisé en fondant un mélange, à poids égaux, d'alumine et de fluorure de baryum, additionnés de 2 à 3 centièmes de bichromate de potasse. L'opération se fait dans un creuset de grès surmonté d'un second creuset renversé. Après refroidissement, on trouve dans le creuset inférieur des rubis roses nettement cr.stallisés, riches en inclusions vitreuses; tandis que les parois du creuset supérieur sont tapissées de longs cristaux d'un silico-aluminate de baryte (probablement anorthite de baryte), qui, d'après l'analyse de M. Terreil, sont constitués de la façon suivante :

Silice	34,3	Oxygène = 3,92
Alumine.	30,4	3
Baryte.	35,1	0,79

La décompositon du chlorure d'aluminium par le magnésium et la vapeur d'eau, dans un tube de porcelaine chauffé au rouge, a fourni à M. St. **Meunier**[1] des cristaux d'aspects divers et entre autres « quelques grains de forme « allongée, très actifs, qui, d'après l'auteur, semblent « être du corindon ». Ces cristaux, en très petit nombre, sont trop imparfaits et en lamelles trop minces pour que leur détermination puisse être faite rigoureusement. La formation du corindon dans ces conditions n'a, du reste, rien d'improbable.

Un autre procédé, employé par M. St. Meunier, consiste à traiter au rouge le zinc par le chlorure d'aluminium en présence de la vapeur d'eau. Il se forme ainsi des lamelles hexagonales qui n'agissent pas sur la lumière polarisée. « Ces cristaux, dit l'auteur, inattaquables aux acides, ne

1. St. Meunier, *C. R.*, t. XC, 1880, p. 701.

« renferment point de zinc; il devient probable qu'ils « étaient constitués par de l'alumine pure. »

M. Stanislas Meunier ajoute qu'avec le chlorure d'aluminium seul et la vapeur d'eau, on obtient en abondance les lamelles hexagonales précédemment signalées; cette production du corindon par décomposition du chlorure d'aluminium, rappelle les expériences similaires de M. Debray et de M. Hautefeuille.

Application à la géologie. — Le corindon est l'un des minéraux accessoires de la granulite et des schistes métamorphiques. L'action minéralisatrice des acides fluorhydrique et chlorhydrique explique ses gisements dans la nature.

DIASPORE (Al^2O^3, HO).

1850. Sénarmont. — **1868.** Becquerel.

Ce minéral[1] a été reproduit artificiellement par **Sénarmont**, en chauffant en vase clos, à 250°, une dissolution de chlorure d'aluminium. Dans cette expérience, il se forme à la fois du corindon et du diaspore. Ce dernier se présente en lamelles rectangulaires, modifiées par des troncatures sur les angles. Entre les nicols croisés, les extinctions se font parallèlement aux arêtes longitudinales. Ce minéral est attaqué par l'acide sulfurique après calcination.

Le diaspore a été obtenu par **Becquerel**[2] en faisant réagir l'une sur l'autre, à travers une feuille de papier

1. Sénarmont, *C. R.*, 1850, p. 762.
2. Becquerel, *C. R.*, 1868, t. LXVII, p. 1081.

parchemin, deux dissolutions. Quand on emploie l'acide chlorhydrique, et l'aluminate de potasse, le produit qui se forme, se présente en lamelles cristallines transparentes, dont la composition, déterminée par l'analyse (Al^2O^3, 3HO), n'est pas identique à celle du diaspore naturel.

Une autre variété d'alumine hydratée cristallisée a été reproduite artificiellement par Becquerel, à l'aide d'un procédé analogue au précédent. Deux dissolutions, l'une d'aluminate de potasse, l'autre de sesquichlorure de chrome, sont mises en contact au travers d'une feuille de papier-parchemin. Sur la face alcaline du papier, il se fait des petits dépôts tuberculeux et des lamelles cristallines d'alumine hydratée, dont la composition déterminée par l'analyse est représentée par la formule : Al^2O^3, HO. Ces lamelles sont biréfringentes, leur forme est celle d'un prisme terminé par des troncatures représentant les faces de la pyramide. L'eau de la substance s'échappe au rouge et la biréfringence disparaît, sans que la forme extérieure change. Ces cristaux sont durs, mais ne rayent pas le verre; ils sont solubles dans la potasse, mais non dans les acides, même à la température de l'ébullition. Soumis à cette dernière opération, ils perdent seulement leur eau de constitution.

Application à la géologie. — Le diaspore résulte dans la nature de la décomposition des silicates alumineux; il s'observe particulièrement dans les régions métamorphiques. L'expérience de Sénarmont et celle de Becquerel ne fournissent que des indications éloignées et incertaines sur son mode de formation.

CYMOPHANE (GlO, Al^2O^3).

1847. Ebelmen. — **1857.** Henri Sainte-Claire Deville et Caron.

Ce minéral a été reproduit artificiellement par **Ebelmen**[1] en employant la méthode utilisée pour la cristallisation des spinelles. Les réactifs mis en œuvre dans cette expérience sont l'alumine, la glucine, le carbonate de chaux et l'acide borique en excès. Le mélange, renfermé dans une capsule de platine, est exposé pendant plusieurs jours à la température d'un four à porcelaine. Il se forme des cristaux de 5 à 6 millimètres de long, translucides, verdâtres, rayant la topaze et doués d'un poids spécifique égal à 3,759.

La composition, déterminée par l'analyse, est celle de la cymophane naturelle. Les cristaux sont des prismes orthorhombiques dont les angles ont pu être mesurés au goniomètre. Les faces reconnues sont p, g^1, $e^{1/2}$, $b^{1/2}$, a^2. Ebelmen a constaté aussi la macle caractéristique de cette espèce minérale. L'addition d'une très petite quantité d'oxyde de chrome permet d'obtenir des cristaux teintés de vert, comme les échantillons de cymophane naturelle. Le microscope y fait reconnaître de nombreuses inclusions vitreuses. Les cristaux prismatiques, à double pointement surbaissé, constituent souvent des agrégats irréguliers; l'extinction se fait suivant la longueur; les cristaux de $0^{mm},03$ donnent des couleurs de polarisation bleuâtres ou jaunâtres.

Henri Sainte-Claire Deville et Caron[2] ont reproduit la

1. Ebelmen, *C. r.*, t. XXV, 1847, p. 279. — *Ann. de ph. et ch.*, t. XXII, p. 211. — J. *f. pr. Ch.*, t, XLIII, p. 472.
2. Henri Sainte-Claire Deville et Caron, *Comptes rendus*, t. XLVI, 1857,

cymophane au moyen de la méthode qui leur a servi à obtenir le corindon. Au fond d'un creuset de charbon, on dispose un mélange de fluorure d'aluminium et de fluorure de glucinium. Au-dessus de ce mélange, se trouve une capsule de charbon contenant de l'acide borique. Le creuset, protégé du contact de l'air, est chauffé à la température du rouge blanc. Les vapeurs des deux fluorures, arrivant sur l'acide borique, s'y décomposent et des cristaux de cymophane résultent de la réaction. Ces cristaux sont d'une grande beauté, identiques par leur forme aux cristaux naturels. Comme eux, ils se groupent de manière à offrir la macle en cœur de cette espèce minérale. Ils présentent aussi le groupement complexe avec stries convergentes de la variété connue sous le nom d'alexandrite.

Application à la géologie. — La cymophane est un des minéraux accessoires de la granulite et des schistes métamorphiques. L'action minéralisatrice de l'acide fluorhydrique s'exerçant sur l'alumine et la glucine explique son gisement et ses associations ordinaires.

SPINELLES (MO, Al^2O^3).

1848. Ebelmen. — **1851.** Ebelmen. — **1858.** Henri Sainte-Claire Deville et Caron. — **1878.** F. Fouqué et A. Michel Lévy. — **1880.** Stanislas Meunier.

Ebelmen[1] est parvenu non seulement à reproduire artificiellement le spinelle normal (aluminate de magnésie),

p. 716. — *L'Inst.*, t. XXV, p. 110. — *J. f. pr. Ch.* t. LXX, p. 381. — *Bibliot. univ. de Genève*, t. XXXIV, p. 68. — *Jahrb f. Min.*, 1857, p. 44.

1. Ebelmen, *Ann. de ph. et ch.*, t. XXII, 1848, p. 211.

mais il a fait cristalliser plusieurs autres aluminates, de manière à compléter la série des spinelles que la nature ne fournit que très incomplète.

Le procédé qu'il a mis en œuvre, dans ces diverses expériences, consiste à chauffer à très haute température, avec un excès d'acide borique, un mélange d'alumine et d'une base convenablement choisie.

Spinelle de magnésie. — Ebelmen a obtenu ce produit cristallisé en jolis petits octaèdres réguliers tronqués sur les arêtes, offrant la dureté, la résistance aux acides et le poids spécifique du spinelle naturel (3,545 à 22°). En outre, il a pu lui donner les diverses colorations qu'il présente dans la nature. Ainsi, en ajoutant environ 3 0/0 d'oxyde de cobalt aux éléments du composé à obtenir, il a produit un spinelle bleu dont il a vérifié les propriétés physiques et la composition. Avec addition d'un dixième de sesquioxyde de fer, il a reproduit le spinelle noir. Avec 1,2 0/0 d'oxyde de chrome, il a obtenu le spinelle rose.

Le spinelle incolore a été produit avec un mélange d'alumine, de magnésie, de carbonate de chaux et d'acide borique en excès. L'analyse de ce corps n'a pas été faite, mais il est probable que, dans sa constitution, il entre à la fois de la chaux et de la magnésie.

Spinelle de manganèse. — Ebelmen l'a produit sous forme de larges lamelles brunes, triangulaires, équilatérales, couvertes de stries qui se croisent sous des angles de 60 degrés. Il a constaté que ces cristaux rayaient le quartz.

Spinelle de fer (hercynite). — Lamelles brunes triangulaires équilatérales, rayant le quartz.

Spinelle de cobalt. — Cristaux d'un bleu noirâtre, octaèdres réguliers, qui rayent difficilement le quartz.

Spinelle de chaux. — Larges lamelles comme celles du spinelle de fer. Elles rayent le quartz et sont incolores.

Spinelle de baryte. — Ce spinelle s'obtient avec un mélange d'alumine et de carbonate de baryte, chauffés avec un excès d'acide borique. Il se forme un culot vitreux, recouvert de lamelles cristallines qui rayent la topaze. Ebelmen signale ce produit comme agissant sur la lumière polarisée, ce qui l'éloignerait des autres minéraux du groupe des spinelles.

Spinelle de zinc (gahnite). — On a remarqué depuis longtemps que les parois des moufles employées dans la métallurgie du zinc (méthode silésienne) se colorent en bleu, par suite des opérations. M. **Degenhardt**[1] a le premier montré que cette coloration était due à une matière alumineuse et zincifère, inattaquable par l'acide fluorhydrique. Il en a conclu que cette substance était de la gahnite.

M. **Wohlfahrt**[2] a réduit en lames minces et étudié au microscope la paroi bleuie des moufles, et, de plus, isolé les petits cristaux colorants. Ses études ont été continuées et achevées par MM. **Schulze** et **Stelzner**[3], auxquels nous empruntons les détails suivants :

Les parois en question se composent d'un verre incolore ou jaunâtre (silicate de zinc et de fer), infiltrant ou enduisant la matière argilo-sableuse primitive de la moufle.

1. Degenhardt, *Americ. Chem.*, 1875, n° 58, p. 355 et *B. u. Hüttenw. Z.*, 1875, p. 230.
2. Wohlfahrt, travail inachevé, cité par MM. Schulze et Stelzner.
3. H. Schulze et A. Stelzner, *Neues Jahrb.*, 1881, p. 120.

Dans ce verre, se sont développés des cristaux de gahnite légèrement ferrifère, de willémite, de tridymite, et parfois d'un minéral triclinique que MM. Schulze et Stelzner considèrent comme une anorthite zincique.

La gahnite est en petits octaèdres de $0^{mm},03$ à $0^{mm},06$, transparents, les plus petits incolores, les autres généralement bleuâtres. Les formes cristallitiques rappellent celles du fer oxydulé.

Spinelles des fourneaux à zinc :

	de Freiberg.	de Rensberg.
Oxyde de zinc	42,60	43,74
Protoxyde de fer	1,12	0,73
Alumine	55,61	55,43
Densités	4,52	4,49

Ces spinelles, chauffés au rouge, en présence de l'air, deviennent jaunâtres. Ce fait tend à prouver que la coloration bleue de ces spinelles est due au fer qu'ils renferment. Cependant quelques expériences de MM. Schulze et Stelzner sont en contradiction avec cette hypothèse vraisemblable.

Ebelmen[1] a obtenu la gahnite sous forme d'octaèdres réguliers, transparents et incolores, rayant le quartz, en chauffant longtemps un mélange d'alumine, d'oxyde de zinc et d'acide borique dans un four à boutons de porcelaine. Les cristaux ainsi formés sont débarrassés aisément de toutes impuretés par un lavage à l'acide chlorhydrique. Leur poids spécifique est égal à 4,58. Leur composition a été vérifiée par l'analyse.

La gahnite a été aussi reproduite artificiellement par **Henri Sainte-Claire Deville et Caron**[2], en volatilisant à très haute température un mélange d'oxyde de zinc et de fluorure d'aluminium, en présence d'une coupelle d'acide

1. Ebelmen, *Ann. de ph. et ch.*, t. XXXIII, 1851, p. 34.
2. Henri Sainte-Claire Deville et Caron, *C. r.*, t. XLVI, 1858, p. 764.

borique. Les deux premiers réactifs sont renfermés dans un creuset de fer, l'acide borique dans une nacelle de platine. On obtient ainsi des octaèdres réguliers, brillants, colorés en noir par de l'oxyde de fer.

Spinelle de cadmium. — En appliquant la même méthode que pour les autres aluminates, **Ebelmen** a obtenu un aluminate de cadmium cristallisé; mais ce produit, qui raye le quartz, se présente en cristaux prismatiques, de telle sorte que, de même que l'aluminate de baryte, il s'écarte du type cristallin habituel de la famille des spinelles.

Spinelles divers. — **M. Stanislas Meunier**[1] a produit le spinelle en faisant agir, à haute température, le chlorure d'aluminium et la vapeur d'eau sur le magnésium. Les cristaux sont incolores; ils se présentent en cubes et en octaèdres; ils sont très durs et inaltérables dans l'acide chlorhydrique bouillant; ils n'agissent pas sur la lumière polarisée.

Dans un très grand nombre de nos expériences de **fusion ignée**, nous avons obtenu[2], après recuit, des octaèdres réguliers d'une grande netteté, disséminés soit en inclusions dans les minéraux cristallisés, soit au milieu de la masse vitreuse en excès. Ces spinelles, inattaquables aux acides, accompagnent le fer oxydulé et se forment en même temps que lui, quand le mélange contient un excès d'alumine; ils se montrent d'un brun foncé, transparents, doués d'un relief très marqué, et sont assimilables à la picotite ou à la hercynite.

Application à la géologie. — Les spinellides se rencon-

1. Stanislas Meunier, *C. r.*, t. XC, 1880, p. 751.
2. F. Fouqué et Michel Lévy, *C. r.*, t. LXXXVII, 1878, p. 700.

trent : 1° dans les roches d'origine ignée; 2° dans les roches métamorphiques, gneiss, calcaires cristallins, etc.

Nos expériences de fusion ignée rendent compte du premier de ces gisements; dans cet ordre de faits, l'idée d'Ebelmen sur la décomposition des silicates fondus par les bases peut encore trouver son application.

La gahnite, observée avec la franklinite et la willémite dans des calcaires cristallins et des talcschistes, a pu résulter d'une décomposition du fluorure d'aluminium par l'oxyde de zinc, suivant la réaction signalée par Henri Sainte-Claire Deville et Caron. Le spinelle proprement dit peut résulter également d'une décomposition du chlorure d'aluminium par la magnésie, suivant un procédé peu différent de celui de M. Stanislas Meunier.

XI

HÉMATITE — FERRITES

FER OLIGISTE (Fe^2O^3).

1823. Gay-Lussac. — **1833.** Haldat. — **1853.** Daubrée. — **1859.** Rammelsberg. — **1861.** Henri Sainte-Claire Deville. — **1880.** F. Fouqué et A. Michel Lévy.
Essais divers. — **1850.** Sénarmont.

La cristallisation accidentelle de ce minéral a été constatée plusieurs fois. On l'a trouvé à Altenau (Harz) sur les parois d'un haut fourneau[1], à Oranienburg dans un four à poterie[2], à Wieliczka dans une argile saline, après un incendie de mine. **M. Kuhlmann**[3] l'a rencontré dans les parois d'un four, où l'on avait calciné un mélange de craie, de chlorure de manganèse et d'un peu de perchlorure de fer, afin de fabriquer du chlorure de calcium. **M. Boussingault** l'a signalé[4] en cristaux enchevêtrés et formant un enduit cristallin, dans les fentes d'un four de grillage de minerai de fer spathique à Rio (Pyrénées-Orientales).

C'est à **Gay-Lussac** qu'on doit la première reproduction

1. *Ann. de ph. et ch.*, t. IV, p. 153.
2. Haussmann, *Beiträge*, p. 18.
3. Kuhlmann, *C. r.*, t. XXXIX, p. 135. — *L'Inst.*, 1853, p. 241. — *J. f. pr. Ch.*, t. LXIII, p. 1.
4. Boussingault, *C. r.*, t. LXXXIII, 1876, p. 1007.

artificielle du fer oligiste[1]. La réaction, employée par lui, est la décomposition du chlorure ferrique par la vapeur d'eau ou encore l'action de la vapeur d'eau sur un mélange de sulfate de fer et de chorure de sodium.

Gay-Lussac a montré en outre que les silicates décomposaient le chlorure de sodium, en présence de la vapeur d'eau, et qu'il se produisait ainsi de l'acide chlorhydrique libre. Il a pu, de la sorte, expliquer rationnellement la formation du fer spéculaire dans les volcans.

Dans la plupart des exemples connus de reproduction accidentelle du fer oligiste, il est évident que la formation de ce minéral est due aux réactions mises en lumière par Gay-Lussac. Dans les fours à poterie notamment, le fer oligiste doit sa naissance à l'intervention de l'acide chlorhydrique qui provient de la décomposition du chlorure de sodium, employé pour le vernissage des poteries.

La vapeur d'eau seule, réagissant à haute température sur le fer métallique, peut aussi donner naissance à du fer oligiste. C'est ainsi que **Haldat**[2] a vu des fils de fer, soumis au rouge à l'action d'un courant de vapeur d'eau, se hérisser de petits rhomboèdres de fer oligiste dont quelques-uns avaient jusqu'à deux millimètres de long.

A ce genre d'opérations se rattache une expérience indiquée par M. **Daubrée**[3] pour la reproduction du fer oligiste; cette expérience est basée sur la décomposition du perchlorure de fer, amené à haute température, à l'état de vapeur, en contact avec la chaux vive.

Le fer oligiste peut aussi être obtenu à l'aide de réactions à haute température, au sein d'un fondant.

Rammelsberg[4] a obtenu le sesquioxyde de fer cristal-

1. Gay-Lussac, *Ann. de ph. et ch.*, t. XXII, 1823, p. 415.
2. Haldat, *Ann. de ph. et ch.*, t. XLVI, p. 70. — *Jahrb. f. Min.*, p. 680, 1833.
3. Daubrée, *C. r.*, t. XXXIX. — *L'Inst.*, 1853, p. 241. — *J. f. pr. Ch.*, t. XIII, p. 1.
4. Rammelsberg, *Pogg. Ann.*, t. CVII, 1859, p. 451.

lisé en fondant un mélange de sulfate de fer et de chlorure de sodium.

Il faut encore rapporter à cet ordre de phénomènes le fait, signalé par **G. Rose**, qu'une perle de borax, saturée de fer à la flamme oxydante du chalumeau, se couvre par refroidissement d'une pellicule composée de lamelles hexagonales de fer oligiste, qu'on peut isoler par un lessivage à l'acide nitrique. La même expérience a été faite par **K. von Hauer**[1] en fondant directement un mélange d'oxyde de fer pulvérisé et de borax.

La formation du sesquioxyde de fer cristallisé dans un mélange fondu de sulfate de soude, de chlorure de sodium et de sulfate de fer, signalée par **Von Hochstetter** dans l'usine de Hruschau, est aussi un exemple de reproduction artificielle du fer oligiste par l'emploi d'un fondant.

Henri Sainte-Claire Deville[2] a transformé le sesquioxyde de fer amorphe en fer oligiste cristallisé, en faisant passer sur cet oxyde, dans un tube chauffé au rouge, un courant lent d'acide chlorhydrique. Il y a formation momentanée de chlorure ferrique et décomposition presque immédiate de ce produit par l'eau qui provient de la réaction. Les roches ferrugineuses, telles que les laves, soumises à l'action de l'acide chlorhydrique gazeux, donnent aussi du fer spéculaire identique à celui des volcans. Cette expérience complète au point de vue géologique celle de Gay-Lussac. Elle explique pourquoi le fer oligiste prend ordinairement naissance dans les fissures volcaniques où le dégagement d'acide chlorhydrique est faible et lent. Elle donne aussi une démonstration des plus nettes du rôle très actif que joue l'acide chlorhydrique comme agent minéralisateur.

1. Von Hauer, *Wien. Acad. Ber.*, t. XIII, p. 456.
2. Henri Sainte-Claire Deville, *C. r.*, t. LII, p. 1264. — *J. f. pr. Ch.*, t. XXXIV, p. 122. — *L'Inst.*, 1861, p. 206.

L'apparence du produit cristallisé, obtenu par Henri Sainte-Claire Deville dans ses expériences, varie avec la température employée. Au rouge vif (température de fusion de l'argent), il se forme des cristaux présentant les faces du rhomboèdre de 86° de l'espèce naturelle, celles du prisme hexagonal, et en outre, des troncatures sur les arêtes du prisme faisant avec celles-ci un angle de 158°50'. Dans le cours de l'opération, il se dégage un peu de chlore; il y a production d'une petite quantité de fer oxydulé; c'est pourquoi les cristaux de fer oligiste, qui se forment, sont un peu magnétiques.

Les cristaux engendrés à une température moins élevée sont aplatis et se présentent sous l'aspect de lamelles hexagonales, avec indication, sur les bords, des facettes du rhomboèdre primitif. Ce produit est identique au fer spéculaire des volcans. La présence de l'eau n'est nullement nécessaire au succès de l'expérience, mais elle n'est pas non plus un obstacle.

En reproduisant plusieurs de nos associations minérales par **fusion purement ignée**, nous[1] avons souvent obtenu la formation de lamelles hexagonales de fer oligiste d'un rouge vif par transparence : le verre silicaté ferrugineux qui nous sert de point de départ, laisse, sous une influence oxydante, s'isoler le fer oligiste, au moment de la production des silicates cristallisés. Le mécanisme est analogue à celui qui préside à la séparation du fer oxydulé, dans une atmosphère moins oxydante.

Essais divers. — **Sénarmont**[2] a transformé l'hydrate de sesquioxyde de fer en sesquioxyde anhydre, en le chauffant en vase clos à 180°, en présence de l'eau ou encore au

1. F. Fouqué et A. Michel Lévy.
2. Sénarmont, *Ann. de ph. et ch.*, t. XXX, p. 129. — *J. f. pr. Ch.*, t. LI, 1850, p. 385.

sein d'une dissolution saturée de chlorure de magnésium ou de chlorure de calcium.

Le produit, que l'on obtient, est rouge, amorphe, peu soluble dans l'acide nitrique. Il ressemble à la variété commune de sesquioxyde de fer naturelle. Sénarmont a encore obtenu le même composé en chauffant en vase clos une dissolution de chlorure de fer avec du carbonate de chaux ou du carbonate de soude. L'opération s'effectue en quarante-huit heures, lorsque l'on opère à 200°; elle doit durer huit jours, quand la température employée n'est que de 160°.

Application à la géologie. — Le fer oligiste se trouve à l'état naturel : 1° dans les fumerolles volcaniques; 2° dans beaucoup de roches éruptives, surtout dans celles qui sont riches en silice; 3° dans les filons concrétionnés. Les expériences de Gay-Lussac, de Haldat, de Henri Sainte-Claire Deville rendent compte du premier mode de gisement; elles expliquent peut-être aussi la formation du fer oligiste dans certaines roches éruptives et dans quelques filons concrétionnés. Enfin, nos essais synthétiques, par fusion ignée, rendent compte de la présence de ce minéral dans le magma fondamental des roches volcaniques.

FERRITES (MO, Fe^2O^3).

1849. Daubrée. — **1851.** Ebelmen. — **1851.** Durocher. — **1858.** Henri Sainte-Claire Deville et Caron. — **1861.** Henri Sainte-Claire Deville et Caron. — **1861.** Debray. — **1861.** Kuhlmann. — **1861.** Von Hauer. — **1862.** Henri Sainte-Claire Deville. — **1867.** Gustave Rose. — **1878.** F. Fouqué et Michel Lévy.

Ferrite de zinc (franklinite).—**M. Daubrée**[1] a reproduit ce minéral en faisant réagir, à haute température, un mélange de perchlorure de fer et de chlorure de zinc sur la chaux caustique. Un procédé analogue a fourni à M. Daubrée la zincite.

La franklinite a été obtenue à l'état cristallisé par **Ebelmen**[2], en soumettant à l'action d'une haute température un mélange d'acide borique, de sesquioxyde de fer et d'oxyde de zinc. Elle se présente en petits octaèdres réguliers, d'un noir brillant, modifiés par de légères troncatures. Ce produit est faiblement attirable à l'aimant et raye le feldspath; il est attaquable à chaud par l'acide chlorhydrique.

Par l'introduction d'une petite quantité d'oxyde de manganèse dans le mélange employé, il est facile de rendre ce produit identique à la franklinite naturelle.

Ferrite de magnésie (chlorospinelle). — **Henri Sainte-Claire Deville**[3] a produit un corps cristallisé analogue au chlorospinelle naturel, en faisant passer au rouge un courant d'acide chlorhydrique sur un mélange de magnésie et de sesquioxyde de fer. Dans cette expérience, il se

1. Daubrée, *C. r.*, t. XXIX, 1849, p. 227.
2. Ebelmen, *Ann. de ph. et ch.*, t. XXXIII, 1851, p. 34.
3. Henri Sainte-Claire Deville, *C. r.*, t. LIII, 1861, p. 190.

forme des cristaux incolores de périclase, et, en même temps, des octaèdres réguliers, noirs, brillants, dans la constitution desquels il entre 79 pour 100 de sesquioxyde de fer et 21 pour 100 de magnésie. Il est probable qu'avec l'addition d'une certaine quantité d'alumine aux réactifs précédents on reproduirait exactement la composition du chlorospinelle naturel.

Ferrite de fer (**fer oxydulé**). — Ce corps a été signalé plusieurs fois, en cristaux accidentellement formés, dans les laitiers ou les parois des fourneaux de l'industrie. Il a été trouvé par **Haussmann**[1] dans le laitier des fours à plomb de Goslar; par **Laurent**[2], dans ceux des fonderies de fer de Châtillon-sur-Seine; par **Wieser**[3], dans les parois des hauts fourneaux de Plons; par M. **Boussingault**[4], dans celles d'un four de grillage de fer spathique à Rio (Pyrénées-Orientales).

La reproduction artificielle du fer oxydulé a été, pour la première fois, réalisée par **Ebelmen**[5], en fondant un mélange de carbonate de chaux et de silicate de fer. Il est probable que la matière fondue, dans cette opération, était soumise ensuite à une calcination prolongée et maintenue à l'état visqueux, de manière à faciliter la combinaison des éléments du mélange et la cristallisation de composés définis, résultant de leur union. Après refroidissement, le culot était traité par un acide faible; les silicates formés se dissolvaient et l'on obtenait un résidu cristallin pulvérulent de fer oxydulé.

1. Haussmann, *Götting. gelehrt. Nach.*, n° 12. p. 178. — *Jahrb. f. Min.*, 1853.
2. Laurent, *Ann. de ph. et ch.*, 1835, p. 330. — *Jahrb. f. Min.*, 1836, p. 372.
3. Wieser, *Jahrb. f. Min.*, 1842, p. 517.
4. Boussingault, *C. r.*, t. LXXXIII, 1876, p. 1007.
5. Ebelmen, *C. r.*, t. XXXII, p. 710 et XXXIII, p. 525. — *L'Inst.*, 1851, p. 179 et 363. — *Ann. de ch. et pharm.*, t. LXXX, p. 211.

Durocher[1] a obtenu un mélange de fer oxydulé et de fer oligiste cristallisés, en faisant réagir au rouge le carbonate d'ammoniaque sur le protochlorure de fer.

On sait que **Henri Sainte-Claire Deville et Caron**[2] ont utilisé l'action qu'exercent à haute température les fluorures volatils sur les combinaisons oxygénées, pour produire des oxydes cristallisés. En appliquant cette méthode au fluorure de fer, réagissant sur l'acide borique, ils ont obtenu des agrégats d'octaèdres de fer oxydulé. L'opération se fait dans un creuset de charbon hermétiquement clos; le fluorure de fer est déposé au fond du creuset, et l'acide borique, dans une capsule de platine suspendue au-dessus du fluorure.

Henri Sainte-Claire Deville[3] a montré encore que le protoxyde de fer était susceptible de fournir des cristaux de fer oxydulé, quand on le soumettait, à haute température, à l'action d'un courant lent d'acide chlorhydrique. Dans cette expérience, il se forme du protochlorure de fer et du fer oxydulé sans production d'eau. Le protoxyde de fer que l'on utilise pour l'opération se prépare par la méthode imaginée par M. Debray (passage, à température élevée, d'un mélange en volumes égaux d'oxyde de carbone et d'acide carbonique sur le sesquioxyde de fer).

Kuhlmann[4] a obtenu du fer oxydulé cristallisé, en fondant du chlorure de calcium et du sulfate de protoxyde de fer dans un creuset hermétiquement fermé.

1. Durocher, expériences de 1851, inédit.
2. Henri Sainte-Claire Deville et Caron, *C. r.*, t. XLVI, p. 764. — *Ann. de ch. et pharm.*, t. CVIII, p. 55. — *J. f. pr. Ch.*, t. LXXIV, p. 157. — *Dingl. pol. j.*, t. CXLVIII, 1858.
3. Henri Sainte-Claire Deville, *C. r.*, t. LIII, p. 199. — *L'Inst.*, 1861, p. 257. — *Ann. de ch. et pharm.*, t. CXX., p. 182. — *J. f. Min.*, 1862, p. 80. — *Jahresb.* 1861, p. 7.
4. Kuhlmann, *C. r.*, t. LII, p. 1325. — *L'Inst.*, 1861, p. 214. — *Jahrb. f. Min.*, 1861, p. 470.

K. Von Hauer[1] est arrivé au même résultat, en chauffant au rouge le chlorure de fer ammoniacal au contact de l'air; la même réaction s'opère encore quand on décompose le chlorure de fer en le faisant passer en vapeurs, avec un courant d'air et de vapeur d'eau, dans un tube chauffé à haute température.

M. Debray[2] a produit du fer oxydulé, cristallisé, en fondant un mélange de phosphate de fer et de sulfate de potasse. Il se forme du phosphate de potasse et le fer oxydulé se sépare en beaux cristaux.

D'après **G. Rose**[3], la perle vert foncé qui se produit quand on fond au chalumeau le fer oxydulé dans l'acide borique, en opérant à la flamme réduisante, doit en grande partie sa couleur à du fer oxydulé cristallisé, que l'on peut isoler par un lessivage convenable.

Dans la plupart de nos expériences[4] de **fusion purement ignée**, toutes les fois que du fer est introduit dans la matière fondue servant de point de départ, il se produit, par recuit, des octaèdres nets de fer oxydulé, reconnaissables à leur forme et à leur éclat d'un bleu d'acier en lumière réfléchie. Ils sont attirables à l'aimant et solubles dans les acides. Tantôt ils sont dispersés, tantôt groupés en arborisations à réseau rectangulaire. On les trouve fréquemment en inclusions dans les minéraux ou implantés à leur surface, parfois même moulant les plus fusibles, bien qu'ils soient eux-mêmes notoirement réfractaires.

Le fer oxydulé se produit donc dans tous les temps de l'opération et il doit vraisemblablement sa naissance, non

1. Von Hauer, *Wien. Acad. Ber.*, t. XIII, p. 456. — *J. f. pr. Ch.*, t. LXIII, p. 439.
3. Debray. *C. r.*, t. LII, p. 985. — *L'Inst.*, 1861, p. 615. — *Ann. de ch. et pharm.*, t. CXX, p. 184.
3. G. Rose, *Berl. Ac. Ber.*, 1867, p. 450.
4. F. Fouqué et Michel Lévy, *C. r.*, 1878, t. LXXXVII, p. 700.

à sa température propre de consolidation, mais à une réaction chimique qui amène sa précipitation.

Application à la géologie. — Tous les ferrites se trouvent dans des roches métamorphiques, tels que les calcaires cristallins, les talcschistes, les schistes chloriteux. En outre l'un d'eux, le fer oxydulé, se rencontre dans presque toutes les roches éruptives; il apparaît également dans des filons concrétionnés.

Dans les roches métamorphiques et dans les filons, les ferrites semblent avoir pris naissance par la décomposition de chlorures sous l'influence de la vapeur d'eau, ou encore sous l'action minéralisatrice exercée par les acides chlorhydrique ou fluorhydrique sur les oxydes, conformément aux expériences de MM. Daubrée, Henri Sainte-Claire Deville et Caron.

Dans les roches d'origine ignée, le fer oxydulé se produit au sein des silicates fondus en vertu de sa propre tendance à la cristallisation, et aussi, dans certains cas particuliers, par voie de précipitation, comme les expériences d'Ebelmen et nos propres essais l'ont démontré. Nous avons vu ainsi le fer oxydulé se produire aux deux temps de consolidation et avec les caractères qu'il affecte dans les roches volcaniques naturelles.

XII

MANGANITES

HAUSSMANNITE (Mn^3O^4).

1852. Daubrée. — **1861.** Debray. — **1861.** Henri Sainte-Claire Deville

M. Daubrée[1] a imité l'oxyde rouge de manganèse en décomposant, au rouge, le chlorure de manganèse par la vapeur d'eau.

M. Debray[2] a produit des cristaux transparents ayant la composition, la dureté et l'éclat de la haussmannite naturelle, en soumettant à une fusion prolongée un mélange de sulfate de manganèse et de potasse caustique.

Henri Sainte-Claire Deville[3] a fait cristalliser l'oxyde rouge de manganèse en le soumettant, au rouge, à l'action d'un courant lent d'acide chlorhydrique. Les cristaux formés sont des octaèdres à base carrée, dont les faces font entre elles des angles d'environ 104°. Il y a identité entre ce produit et la haussmannite naturelle.

En employant les mêmes réactifs, avec adjonction d'un courant d'hydrogène, Deville a pu obtenir le protoxyde de

1. Daubrée, *Ann. des mines*, 5e série, t. I, 1852, p. 124.
2. Debray, *C. r.*, t. LII, 1851, p. 985.
3. Henri Sainte-Claire Deville, *C. r.*, t. LII, 1861, p. 1283 et 1325.

manganèse cristallisé; les cristaux de ce corps sont des cubo-octaèdres.

M. Kuhlmann[1] a produit des cristaux ayant la composition de la haussmannite, en fondant, en présence de l'air, un mélange de chlorure de calcium et d'oxydule de manganèse. L'idée de cette expérience avait été suggérée au savant chimiste par la découverte de cristaux semblables, dans une fente d'un fourneau servant à la préparation du chlorure de calcium au moyen du chlorure de manganèse et du carbonate de chaux. D'après les descriptions de M. Kuhlmann, les cristaux produits dans ces conditions ne sont pas véritablement des cristaux de haussmannite, car tout en possédant l'aspect et la composition de ce minéral, ils n'en présentent pas la forme cristalline. Leur forme est celle de la manganite.

M. Bourgeois, en fondant les éléments de la téphroïte, a obtenu, associés à ce minéral et à la rhodonite, des octaèdres de hausmannite de $0^{mm},01$, groupés à la façon du fer oxydulé, d'un rouge foncé par transparence. L'opération nécessite un recuit d'un quart d'heure seulement, avec le dispositif n° 4.

Application à la géologie. — L'haussmannite naturelle peut être considérée comme ayant pris naissance sous l'influence minéralisatrice de l'acide chlorhydrique, comme dans les procédés synthétiques ci-dessus énumérés.

1. Kuhlmann, *C. r.*, t. LIII, 1862, p. 119.

XIII

OXYDE DE CHROME — CHROMITES CHROMATES

MÉLANOCHROÏTE ($3PbO, 2CrO^3$).

1866. Becquerel.

Becquerel[1] a obtenu des aiguilles jaune-orangé, biréfringentes, ayant la composition de la mélanochroïte, en faisant agir, à travers une feuille de papier parchemin, deux solutions, l'une de bichromate de potasse, l'autre de plombite de potasse (KO, PbO).

Le même savant a encore obtenu des chromates basiques de plomb en faisant traverser, par un courant électrique faible, des solutions de chromate neutre de potasse et de chlorure de plomb, ou de chromate de potasse et de nitrate de plomb, mises en contact imparfait.

M. Stanislas Meunier a annoncé[2] qu'il avait obtenu la mélanochroïte par l'action de la galène sur une solution étendue de bichromate de potasse. Après plusieurs mois, on trouve sur la galène un enduit pulvérulent qui paraît amorphe. Mais l'auteur a observé en outre « un fragment

1. Becquerel, *C. r.*, t. LXIII, 1886, p. 1.
2. Stanislas Meunier, *C. r.*, t. LXXXVII, 1878, p. 656.

« de galène sur lequel on voit une très petite rosace, con-
« stituée par des cristaux groupés autour d'un centre. »

OXYDE DE CHROME (Cr^2O^3).

1834. Wöhler. — **1851**. Ebelmen. — **1851**. Svanberg. — **1861**. Geuther. **1881**. Dupont et Ferrières.

L'oxyde de chrome a été trouvé par **Blake**[1] accidentellement reproduit sur les parois d'un four à réverbère, qui avait servi longtemps à la fabrication du chromate de potasse au moyen du fer chromé. On l'a trouvé, dans les mêmes conditions, sur les parois des fours de l'usine Clouet au Havre. On doit supposer qu'une petite quantité d'acide chromique a été déplacée du chromate de potasse par la silice des briques du four et réduite par la flamme.

Wöhler[2] a, le premier, reproduit artificiellement l'oxyde de chrome cristallisé, en décomposant au rouge sombre la vapeur d'acide chloro-chromique. Le produit volatil se dissocie; du chlore et de l'oxygène sont mis en liberté et il se forme des rhomboèdres maclés suivant une de leurs faces. Ils sont doués de clivages très marqués parallèlement aux trois faces du rhomboèdre. Ils sont opaques, présentent un reflet noir métallique et leur poussière est verte. Poids spécifique 5,2.

Ebelmen[3] par l'application de son procédé ordinaire, a pu obtenir l'oxyde de chrome nettement cristallisé. Le mélange employé était formé d'oxyde de chrome, de

1. Blake, *Sill. Amer. J.*, 2e série. t. X, p. 352.
2. Wöhler, *Pogg. Ann.*, t. XXXIII, 1834, p. 341.
3. Ebelmen, *Ann. de ph. et ch.*, t. XXXIII, 1851, p. 34.

carbonate de chaux et d'acide borique. Le culot qui reste après un chauffage prolongé à très haute température, est soumis à l'action de l'acide nitrique qui enlève la chaux et l'acide borique employés en excès, mais ne dissout pas trace de chrome. Il reste des cristaux rhomboédriques basés, simples ou modifiés par les faces d^1, e_3. L'angle des faces du rhomboèdre est égal à 80° 55′. Ces cristaux d'un beau vert très foncé rayent la topaze. Leur poids spécifique est égal à 5,215. Dans cette expérience, l'oxyde de chrome cristallise au sein du borate de chaux sans y laisser trace de son passage.

L'oxyde de chrome a été reproduit artificiellement par **Svanberg**[1], en chauffant le bichromate de potasse pendant dix-huit heures à très haute température, dans un creuset de porcelaine. La silice du creuset décompose le chromate et les parois se couvrent de paillettes cristallines d'oxyde de chrome.

Geuther[2] a obtenu l'oxyde de chrome cristallisé en faisant, comme Wöhler, passer l'acide chloro-chromique en vapeurs dans un tube chauffé au rouge. Il est à remarquer que l'auteur attribue au produit ainsi formé une composition, $Cr^5 O^9$, différente de celle de l'oxyde normal et qu'il lui a reconnu un pouvoir magnétique sensible.

MM. **Dupont et Ferrières**[3] ont fait réagir au rouge la vapeur d'eau sur le sesquichlorure de chrome. Ils ont obtenu des cristaux rhomboédriques striés et cannelés, à reflet noir-verdâtre.

1. Svanberg. *J. f. pr. Ch*, t. LIV, 1851, p. 188.
2. Geuther, *Ann. de ch. et pharm.*, t. CXVIII, 1861, p. 61.
3. Dupont et Ferrières. *Laboratoire de M. Frémy*, 1881.

CHROMITES (MO, Cr^2O^3).

1851. Ebelmen.

Ces composés ont été reproduits artificiellement par **Ebelmen**[1], en soumettant, à l'action prolongée d'une haute température, un mélange d'acide borique avec les oxydes qui entrent dans la constitution du produit cherché.

Chromite de manganèse. — Ce corps se présente en octaèdres réguliers d'un gris de fer, qui rayent le quartz, sont inattaquables aux acides. Leur poids spécifique est égal à 4,87.

Chromite de zinc. — Il a été obtenu en octaèdres réguliers d'un vert noir, rayant le quartz. Le poids spécifique de ce produit est égal à 5,309.

Chromite de magnésie. — Ce composé se montre en petits cristaux d'un vert sombre, faiblement agrégés; ce sont des octaèdres réguliers. Il raye le verre, mais non le quartz. Quand on a enlevé, à l'aide de l'acide chlorhydrique, un petit excès de magnésie qui souille les cristaux, ceux-ci résistent à l'action de l'acide sulfurique. Leur poids spécifique est égal à 4,415. Ebelmen a vérifié leur composition par l'analyse. Il fait remarquer, à propos de ce composé, que son poids spécifique est plus grand qu'on n'aurait dû s'y attendre, d'après sa place par rapport aux spinelles, et qu'au contraire sa dureté est inférieure à celle qui était à prévoir.

1. Ebelmen, *Ann. de ph. et ch.*, t. XXXIII, 1851, p. 34.

Chromite de fer. — Ce composé est, à cause de son abondance dans la nature, le plus important des minéraux du groupe des chromites. Les matières employées par Ebelmen pour arriver à sa reproduction artificielle, sont le sesquioxyde de fer, l'oxyde de chrome, l'acide borique et l'acide tartrique. Ce dernier joue le rôle de réducteur par rapport à l'oxyde de fer.

Ebelmen a recommencé trois fois l'expérience, en ajoutant, dans deux des opérations, aux réactifs ci-dessus indiqués, un peu de magnésie, et dans l'une d'elles un peu d'alumine.

Il a conclu de ses expériences que le chromite de fer artificiel cristallisait en octaèdres réguliers d'un noir foncé, qu'il possédait une dureté égale à celle du quartz et qu'il n'était ni attirable à l'aimant, ni attaquable à l'acide chlorhydrique. Il a trouvé son poids spécifique égal environ à 4,87.

Dans les expériences où Ebelmen avait ajouté de l'alumine et de la magnésie, le savant expérimentateur a constaté que ces deux substances font réellemenl partie de la constitution du minéral. Les cristaux obtenus sont des octaèdres réguliers à faces noires brillantes, inattaquables à l'eau régale, partiellement attirables à l'aimant. En les soumettant à l'action répétée de l'acide sulfurique et de l'acide fluorhydrique, on les dissout en grande partie et le liquide provenant de chaque traitement contient à la fois en dissolution du fer, de l'alumine et de la magnésie. Cependant les parties les plus riches en fer semblent se dissoudre les premières; car lorsqu'on a dissous 40 0/0 de la matière soumise à l'expérience, le résidu cesse complètement d'être attirable à l'aimant. L'analyse montre que ce résidu possède la composition d'un chromite de fer, dans la constitution duquel il entre un peu d'alumine et de magnésie. Son poids spécifique est égal à 4,64.

L'expérience, dans laquelle l'alumine et la magnésie n'étaient pas au nombre des éléments employés, a fourni à Ebelmen un chromite complexe où le fer et le chrome figurent à la fois comme sesquioxydes isomorphes (Cr^2O^3, Fe^2O^3) FeO.

Ce composé se présente en octaèdres réguliers, noirs, possédant la dureté du quartz, non attirables à l'aimant, inattaquables à l'acide chlorhydrique. Son poids spécifique est égal à 4,97 : « Il établit la transition entre le fer « chromé et le fer oxydulé, tandis que les variétés qui « contiennent de l'alumine et de la magnésie, montrent « le passage entre cette espèce et le spinelle. Ces expé- « riences, dit Ebelmen, lèveront, je l'espère, tous les « doutes qui pourraient rester encore dans l'esprit des « minéralogistes sur la véritable place du fer chromé dans « la classification générale des espèces. »

M. Clouet[1] a obtenu, sous forme d'octaèdres réguliers, un chromite de fer (2FeO, Cr^2O^3) qui par sa composition s'écarte complètement des spinelles, bien qu'il ait même forme cristalline.

Ce corps se prépare en précipitant par l'ammoniaque un mélange de deux solutions, l'une de sulfate de fer, l'autre de chlorure de chrome et calcinant le produit dans du borax.

1. Clouet, *C. r.*, t. LXVII, p. 762, 1868.

XIV

PHOSPHURES — PHOSPHATES CHLORO ET FLUO-PHOSPHATES

RHABDITE (Fe^7 Ph).

1877. Sidot.

La rhabdite est un phosphure de fer quadratique, trouvé par **G. Rose** dans la météorite de Braunau (Bohême). **M. Mallard** [1] en a signalé la dissémination, soit en petits globules presque sphériques, soit en agrégats cristallins atteignant presque la grosseur du poing, dans les produits de la combustion des houillères de Commentry. Les faces observées sont m, h^1, a^1. Les mesures goniométriques ont donné : $m/a^1 = 108^0 4'$; a^1/a^1 adj. $= 143^0 42'$.

Ce phosphure de fer est associé, dans le produit de Commentry, à de l'anorthite et à de l'augite. M. Mallard fait ressortir la similitude de cette roche d'origine purement ignée avec les météorites du type de Juvinas. Il convient d'ajouter que la vivianite, signalée dans les produits des houillères embrasées, paraît résulter d'une oxydation de ce phosphure.

M. Sidot [2] a préparé un phosphure analogue à la rhab-

1. Mallard, *Bull. Soc. min.*, 1881, p. 230.
2. Sidot, *C. r.*, t. LXXXIV, 1877, p. 1454.

dite, en plongeant à froid, dans une dissolution de sulfate de fer, des bâtons de phosphore. Il se forme du phosphure de fer noir; de l'acide sulfurique et de l'acide phosphorique restent en dissolution dans la liqueur. La même réaction s'effectue plus rapidement à 100°. Le phosphure ainsi obtenu ne paraît pas cristallin; mais quand on le chauffe au rouge dans un courant de vapeurs de phosphore, ou même en vase clos à l'abri de l'air, il se transforme en un agrégat de cristaux.

Antérieurement, M. **Sidot** [1] avait déjà obtenu un phosphure de fer (Fe^7 Ph), en faisant agir le phosphore en vapeurs sur du fil de clavecin chauffé au rouge.

Les cristaux sont quadratiques, d'un blanc bleuâtre, durs comme l'acier, très magnétiques.

Tout récemment, M. **Garnier** [2] a obtenu un phosphure de nickel (Ni^5 Ph), en longs prismes quadratiques ou orthorhombiques, basés sans pointements déterminés, en faisant réagir à haute température la vapeur de phosphore sur du nickel. Ce sont des prismes très allongés, couleur d'acier, striés longitudinalement

Application à la géologie. — On trouve, dans les météorites, des phosphures doubles de nickel et de fer, dont la genèse peut être expliquée par les expériences de MM. Sidot et Garnier.

1. Sidot, *C. r.*, t. LXXIV, 1872, p. 1425.
2. Garnier, *Bull. Soc. min.*, 1881, p. 17.

SCHREIBERSITE ($Ni^2 Fe^4 Ph$).

1863. Faye.

M. **Faye**[1] a tenté la reproduction de la schreibersite en fondant un mélange de sesquioxyde de fer, d'oxyde de nickel, de pyrophosphate de soude et de silice dans un creuset brasqué. Après refroidissement, il obtient un culot qui, traité par l'acide chlorhydrique, présente, dans les points où il était en contact avec le fondant, une couche composée de lamelles brillantes. Ces lamelles ont la composition de la schreibersite naturelle; elles sont fortement attirables à l'aimant et inattaquables par l'acide chlorhydrique.

MONAZITE ($3MO, PhO^5$).

1875. Radominsky.

La monazite est un phosphate tribasique de cérium, de lanthane et de didyme dont la reproduction artificielle a été effectuée par **M. Radominsky**[2]. Ce corps s'obtient à l'aide du phosphate complexe amorphe, précipité chimiquement,que l'on produit en traitant une dissolution d'un sel de cérium impur par une dissolution de phosphate de soude. On mélange ce précipité avec un excès de chlorure de cérium et on porte le tout au rouge. Le chlorure de

1. Faye, *C. r.*, t. LVII, 1863, p. 799.
2. Radominsky, *C. r.*, t. LXXX, 1875, p. 304.

cérium fond. Après refroidissement et lessivage du culot qui se forme, on recueille de longs prismes, jaunes, à faces striées, dont le poids spécifique est égal à 5,09, et dont la composition, établie par l'analyse, a été trouvée identique à celle de la monazite naturelle.

En traitant un sel de cérium pur par le phosphate de soude, et partant par conséquent ensuite d'un phosphate de cérium exempt d'yttria et de didyme, M. Radominsky a obtenu des cristaux incolores qui peuvent être considérés comme représentant le type de l'espèce monazite, tandis que la nature ne fournit que des dérivés de ce minéral, engendrés par voie d'isomorphisme.

XÉNOTIME ($3YO, PhO^5$).

1875. — Radominsky.

M. Radominsky[1] a reproduit artificiellement la xénotime en fondant un mélange de phosphate d'yttria et de chlorure de la même base. Le culot lessivé fournit de fines aiguilles cristallines quadratiques, à facettes brillantes, qui ne diffèrent de la xénotime naturelle que par la perfection plus grande de leur forme et la simplicité de leur composition. En effet, dans la xénotime naturelle, avec l'yttria figurent comme bases isomorphes l'erbine, le lanthane et le didyme.

1. Radominsky, *C. r.*, t. LXXX, 1874, p. 304.

HURÉAULITE ($3MnO, PhO^5 + 3HO$).

1864. Debray.

M. Debray [1] a reproduit artificiellement l'huréaulite en chauffant à 100° un mélange de deux dissolutions, l'une de phosphate d'ammoniaque, l'autre de sulfate de manganèse en excès. Les cristaux qui se forment sont des prismes obliques symétriques, identiques à ceux de l'huréaulite naturelle.

Il est à remarquer que l'huréaulite artificielle diffère du produit naturel en ce qu'elle est complètement exempte de fer; on doit donc la considérer comme un type de cette espèce minéralogique plus pur que les échantillons divers fournis par la nature, car dans ceux-ci le fer figure à l'état d'élément isomorphe du manganèse.

Application à la géologie. — Le procédé synthétique de M. Debray peut rendre compte du gisement naturel de l'huréaulite.

HOPÉITE ($3ZnO, PhO^5 + 4HO$).

1860. Debray. — **1879.** Friedel et Sarasin.

La hopéite est un phosphate de zinc hydraté dont la composition n'a pu être rigoureusement déterminée qu'après la reproduction artificielle effectuée par MM. Friedel et Sarasin, dont il sera question plus loin.

1. Debray, *C. r.*, t. LIX, p. 40, 1864.

M. Debray [1] a montré qu'en faisant bouillir une dissolution d'acide phosphorique ayant séjourné sur du carbonate de zinc, on obtient un sel en paillettes brillantes, nacrées, qui a pour formule $3\,ZnO, PhO^5 + 4\,HO$.

MM. Friedel et Sarasin [2] ont obtenu le même produit par la simple ébullition d'une dissolution d'acide phosphorique et d'oxyde de zinc en quantités égales. Ils l'ont encore préparé à froid par l'action de l'acide phosphorique sur la calamine.

Pour obtenir ce produit en cristaux plus volumineux et prismatiques, MM. Friedel et Sarasin ont fait agir une dissolution d'acide phosphorique sur l'oxyde de zinc en tube scellé, pendant seize heures environ, à des températures variant de 150 à 180°. Il convient que le poids d'oxyde de zinc soit égal à celui de l'anhydride phosphorique contenu dans la dissolution.

Les cristaux obtenus se présentent sous la forme de lames rectangulaires orthorhombiques, sur les longs côtés desquels on aperçoit d'étroites facettes. Les faces observées sont p, m, g^1.

On distingue encore des lames hexagonales symétriques (g^1, a^5). Les angles mesurés sont : $a^5/a^5 = 150°$; $m/m = 120°$; $m/g^1 = 120°$.

Ceux de la hopéite naturelle n'en diffèrent que de quelques minutes. Le plan des axes optiques est parallèle à p, les extinctions se font longitudinalement.

Lorsque la température de l'expérience dépasse 180°, on obtient un sel d'apparence fort analogue à celle du précédent, qui ne contient qu'un équivalent d'eau. M. Debray avait déjà antérieurement constaté le même fait.

Application à la géologie. — Les procédés synthétiques

1. Debray, *C. r.*, t. LIX, 1864, p. 40. — *Ann. de ph. et ch.*, t. LXI, p. 436, 1860.
2. Friedel et Sarasin, *Bull. Soc. min.*, 1879, p. 153.

énumérés ci-dessus rendent compte de la production naturelle de la hopéite.

VIVIANITE ($3FeO, PhO^5 + 8HO$).

1861. Becquerel. — **1864**. Debray.

Des reproductions accidentelles de ce minéral ont été plusieurs fois constatées. **Haidinger** [1] en a décrit un cas observé par lui dans les os d'un squelette, ramassé sous des décombres à Tarnowitz.

Nicklès [2] a trouvé dans le tibia d'un squelette provenant du cimetière d'Eumont une matière bleue qui, vue au microscope, a été reconnue par lui comme constituée par des prismes orthorhombiques de vivianite.

Schlossberger [3] a soumis à l'analyse chimique une matière bleue, développée, au contact de l'air, sur des clous extraits de l'estomac d'une autruche, et a reconnu que cette matière possédait la composition de la vivianite.

La reproduction artificielle de ce minéral paraît se faire toutes les fois que l'on plonge des lames de fer dans une dissolution aqueuse de phosphate d'ammoniaque. La plaque se couvre d'un dépôt cristallin blanc, possédant la composition et les propriétés physiques du phosphate de fer hydraté de la nature.

M. Daubrée [4] a constaté sa présence, sous la forme d'un enduit bleu, à la surface d'objets en fer trouvés dans les thermes de Bourbonne-les-Bains.

1. Haidinger, *J. pr. Ch.*, t. XLIV, p. 81.
2. Nicklès, *C. r.*, t. XLI, p. 1169. — *L'Inst.*, p. 4, 1855.
3. Schlossberger, *Ann. Ch. und Pharm.*, *t.* LXII, p. 382. — *Jahrb. f. Min.*, p. 594, 1848.
4. *Géol. expérim.*, p. 79.

Enfin, la vivianite a été observée dans les produits des houillères embrasées de Commentry ; elle paraît y résulter d'une altération de la rhabdite.

La vivianite a été obtenue par **Becquerel** [1], en mettant en communication lente deux solutions susceptibles, par leur réaction mutuelle, de donner naissance à ce minéral. L'opération se fait dans un tube en V, dont une des branches contient une solution de sulfate de cuivre, avec une lamelle de cuivre qui la maintient saturée, et dont l'autre branche renferme une dissolution de phosphate de soude et une lamelle de fer.

Entre les deux liquides, est interposée une couche d'argile. Il se forme un phosphate de cuivre que le fer décompose au fur et à mesure de sa production et, à la surface de la lame de fer, il se développe un groupe de cristaux ayant la composition de la vivianite et, comme elle, bleuissant au contact de l'air.

M. Debray [2], a obtenu de jolis cristaux de vivianite, semblables à ceux de Commentry, en soumettant à de faibles variations de température le précipité amorphe qui se produit, quand on met en contact deux dissolutions, l'une de sulfate de fer, l'autre de phosphate de soude, ce dernier sel étant employé en excès.

On doit à **Forchhammer** la reproduction artificielle d'un phosphate de fer cristallisé qui ne diffère de la vivianite que parce qu'il est anhydre. Ce corps s'obtient en fondant un mélange de sulfate de fer, de phosphate de soude et de chlorure de sodium.

Après lessivage du culot qui se forme, on recueille une poudre cristalline dont la composition est représentée par la formule : $3FeO, PhO^5$, et qui prend à l'air les couleurs bleuâtres de la vivianite naturelle.

1. Becquerel, *Ann. de ph. et ch.*, t. LIV, p. 149.
2. Debray, *C. r.*, t. LIX, 1864, p. 40.

Application à la géologie. — La vivianite paraît se reproduire dans la nature à la façon des minéraux secondaires, par double décomposition.

Ce procédé naturel n'est autre que celui qui a été employé dans les reproductions artificielles ; il fournit surtout de beaux cristaux, quand on fait intervenir des températures variables, supérieures à la température ordinaire.

LIBÉTHÉNITE ($3CuO, PhO^5 + CuO, HO$).

1860. Debray. — **1879.** Friedel et Sarasin.

L'acide phosphorique dilué, mis en présence du carbonate de cuivre à 70°, fournit, d'après **M. Debray** [1], un phosphate tribasique cristallisé ($3CuO, PhO^5, 3HO$) qui, chauffé à son tour à une température plus élevée, avec de l'eau, dans un tube scellé à la lampe, se transforme en cristaux octaédriques orthorhombiques, identiques, pour la forme et la composition, à la libéthénite naturelle.

La formation de ce produit s'effectue plus rapidement au contact des dissolutions de sulfate et d'azotate de cuivre. C'est à 150° que la réaction s'opère alors le plus facilement. En présence du chlorure de cuivre, la transformation ne s'effectue qu'à 200°, et, dans l'eau pure, à une température plus haute encore.

La libéthénite peut aussi être reproduite artificiellement en faisant réagir, à une température supérieure à 100°, l'azotate de cuivre sur le phosphate de chaux ($2CaO, HO, PhO^5$).

1. Debray, *Bull. Soc. chim.*, février 1860. — *Ann. de ph. et ch.*, t. LXI, p. 419. — *C. r.*, t. LII, p. 44. — *L'Inst.*, 1861, p. 9. — *Ann. Ch. Pharm.*, t. CXV, p. 50. — *Jahresb.*, 1860, p. 72.

MM. Friedel et **Sarasin** [1] ont montré que la libéthénite peut se préparer déjà à la température de l'ébullition de l'eau, par la transformation du phosphate tribasique de cuivre en libéthénite d'un blanc verdâtre. Pour obtenir des cristaux volumineux, il faut agir sur une liqueur renfermant un notable excès d'acide phosphorique et opérer en vase clos à 180° environ. **MM.** Friedel et Sarasin ont ainsi obtenu des cristaux d'un vert olive, de 1 millim. de longueur, présentant les faces m et a^1. L'angle $m/m = 87°30'$, $a^1/a^1 = 70°$ à 71°.

Les auteurs signalent ce fait qu'en chauffant au rouge, à l'abri des gaz réducteurs, la libéthénite naturelle ou artificielle, finement pulvérisée, on la transforme en une poudre anhydre, brune à chaud et à froid d'un beau vert.

Application à la géologie. — La libéthénite est un produit secondaire des gisements cuprifères. Les procédés de **MM.** Debray, Friedel et Sarasin peuvent rendre compte des faits naturels.

CHALCOLITE [$(U^2O^3)^2 CuO, PhO^5 + 8HO$.]

1861. Debray.

M. Debray a montré que l'on pouvait reproduire artificiellement ce minéral en chauffant, à une température convenable, un mélange de deux dissolutions, l'une d'azotate d'urane, l'autre de phosphate de cuivre obtenu en faisant digérer du carbonate de cuivre avec de l'acide phosphorique. A la température de 50 à 60°, il se forme

1. Friedel et Sarasin, *Bull. Soc. min.*, 1879, p. 157.

assez rapidement, dans la liqueur, des petites paillettes cristallines du système quadratique, de couleur vert pâle, qui ont la composition de la chalcolite.

M. Debray, en employant la même méthode, a produit une série de phosphates dont la composition est analogue à celle de la chalcolite et qui sont représentés par la formule générale :

$$3\,RO, PhO^5 + n\,HO.$$

Parmi ces produits, se trouve un phosphate de cobalt bien cristallisé; les cristaux qui le composent sont réunis en nodules, hérissés de pointements aigus. Par contre, un autre phosphate de cobalt, $2CoO, HO, PhO^5 + 3HO$, se présente au microscope sous forme de petits globules colloïdes à croix noire.

La chalcolite peut encore, d'après M. Debray, être obtenue en faisant agir le phosphate d'urane sur l'azotate de cuivre, dans les mêmes conditions que ci-dessus.

Application à la géologie. — La chalcolite est un minéral secondaire des filons concrétionnés. L'expérience de M. Debray fournit une indication sur sa production dans la nature.

APATITES ET WAGNÉRITES.

Apatite de chaux.— **1851**. Daubrée.— **1852**. Manross.— **1853**. Forchhammer. — **1858**. H. Sainte-Claire Deville et Caron. — **1861**. Debray.
Pyromorphite. — **1852**. Manross. — **1858**. H. Sainte-Claire Deville et Caron. — **1861**. Debray.
Apatites diverses. — **1858**. H. Sainte-Claire Deville et Caron. — **1861**. Debray.
Wagnérites. — **1863**. H. Sainte-Claire Deville et Caron.

$$\text{APATITES} \left\{ 3\,(3MO, PhO^5) + M \left\{ \begin{matrix} Fl \\ Cl \end{matrix} \right. \right\}.$$

Trois sortes de procédés ont conduit à la reproduction des apatites; la méthode la plus généralement employée consiste dans l'emploi des chlorures ou fluorures en excès comme fondants. Vient ensuite l'intervention d'un agent volatil à haute température. Enfin la voie humide sous pression a été également utilisée.

Apatite de chaux. — Le procédé employé par **M. Daubrée**[1], pour reproduire artificiellement l'apatite, repose sur la réaction qu'exerce à haute température le protochlorure de phosphore sur la chaux. Dès que les vapeurs du chlorure arrivent au contact de la chaux, une vive incandescence se manifeste. Il se forme du chlorure de calcium, du phosphate tribasique de chaux et une petite quantité d'apatite chlorurée. Après refroidissement et lessivage de la matière refroidie, on recueille une poudre cristalline qui, vue au microscope, se montre composée de prismes hexagonaux. Le poids spécifique de cette apatite est égal à 2,98.

En employant de la chaux hydratée ou du carbonate de chaux au lieu de chaux vive, on arrive au même résultat.

Ces expériences ont été plus tard répétées par **H. Sainte-Claire Deville** et **Caron**[2], qui ont reconnu que l'apatite produite était toujours accompagnée d'une petite quantité de wagnérite de chaux

1. Daubrée. *C. r.*, t. XXXII, 1851, p. 625. — *L'Inst.*, t. XIX, p. 654. — *Bull. de la Soc. géol.*, 1851, p. 347. — *Ann. des mines*, 4e série, t. XIX, p. 654.
2. Henri Sainte-Claire Deville et Caron, *Ann. de ph. et ch.*, t. LXVII, p. 443.

L'apatite de chaux a été reproduite artificiellement par **Manross**[1], au moyen du phosphate de soude desséché que l'on chauffe au rouge en présence d'un chlorure ou d'un fluorure, servant à fournir une partie des éléments nécessaires à la constitution du minéral cherché, et remplissant en même temps l'office d'un fondant qui facilite la cristallisation.

Dans une première expérience, Manross a employé, comme fondant, un mélange de chlorure et de fluorure de calcium en excès. Dans la matière refroidie, on apercevait des aiguilles cristallines, ayant la forme de prismes à six pans, terminées par les faces d'une pyramide hexagonale. Le même résultat a été obtenu ensuite avec le fluorure de calcium, sans addition de chlorure. L'insolubilité du fluorure de calcium empêchait d'isoler les cristaux formés. Enfin, dans une troisième expérience, où le chlorure avait été, au contraire, utilisé à l'exclusion du fluorure, Manross, ayant dissous dans l'eau bouillante le chlorure de calcium employé en excès, recueillit une poudre cristalline composée de prismes hexagonaux; ils possédaient la forme cristalline et donnaient à l'analyse des nombres correspondant à la formule de l'apatite, soit :

$$3\,(3\,CaO,\,PhO^5) + CaCl.$$

L'angle e^1/p a été trouvé égal à 129° 7′ et le poids spécifique à 3,054.

Gottlieb[2] a mis en œuvre le même procédé.

Des réactions analogues ont été utilisées par **Forchhammer**[3]. Ce savant, pour reproduire l'apatite, a employé

1. Manross, *Ann. Ch. Pharm.*, t. LXXXII, p. 388. — Thèse inaugurale, *Göttingen*, 1852.
2. Gottlieb, *Ann. Ch. Pharm.*, t. XCVII, p. 95.
3. Forchhammer, *Oeversigt ov det Vidensk. Selsk. Förhandl.*, 1853. — *Ann. Ch. Pharm.*, t. XC, p. 77. — *Pogg. Ann.*, t. XCI, 1568. — *N. Ja f. Min.*, 1855, p. 100. — *J. pr. Ch.*, t. LXII, p. 171.

le phosphate de chaux tribasique, fondu dans le chlorure de sodium. Après refroidissement, le culot obtenu se montrait creusé de cavités renfermant de longs cristaux prismatiques hexagonaux, qu'il était facile d'isoler en dissolvant le chlorure employé en excès. Dans les cristaux ainsi formés, le chlore remplaçait entièrement le fluor de l'apatite naturelle.

Le résultat est le même quand on emploie des os calcinés au lieu de phosphate de chaux pur. Mais si l'on traite, comme précédemment, un mélange d'apatite naturelle pulvérisée et de chlorure de sodium, on obtient, à l'état de cristaux, une apatite à la fois chlorurée et fluorée comme celle de la nature.

Voulant[1] démontrer que la nature avait pu employer la méthode dont il s'était servi pour reproduire l'apatite, Forchhammer a soumis à l'action d'une haute température, dans des creusets de Hesse, des mélanges de chlorure de sodium en excès, avec des poudres de diverses roches dans lesquelles on savait qu'il existait de l'acide phosphorique. Il a traité ainsi des argiles et des marnes (marne de Moën, argile de Flensburg, argile de Sylt, argile de Copenhague). Dans chacune de ces expériences il recueillait un culot composé de deux couches, une inférieure silicatée, une supérieure formée de chlorure de sodium au sein de laquelle s'observaient des lamelles brunes d'apparence micacée et des cristaux d'une apatite fluorée et chlorurée.

H. Sainte-Claire Deville et **Caron**[2] ont obtenu de jolis cristaux d'apatite en chauffant au rouge un mélange d'une partie de phosphate de chaux tribasique avec un douzième de fluorure de calcium et un grand excès de chlorure de calcium. Les cristaux que l'on recueille, après lessivage

1. Forchhammer, *Ann. Ch. Pharm.*, t. XC, p. 322.
2. Henri Sainte-Claire Deville et Caron, *C. r.*, t. XLVII, 1858, p. 985. — *L'Inst.*, 1858, p. 41.

du culot, sont des prismes hexagonaux très allongés. Leur composition a été vérifiée par l'analyse. La fusion doit être effectuée dans un creuset de charbon, l'acide phosphorique attaquant trop fortement les creusets de terre ou de grès.

M. **Debray**[1] a montré que le phosphate de chaux $(2CaO, HO)\ PhO^5$, chauffé à 250° en présence d'une dissolution de chlorure de calcium, se transforme en apatite cristallisée. Le phosphate, qui sert de base à l'opération, s'obtient en faisant digérer un mélange d'acide phosphorique et de carbonate de chaux.

On doit encore à M. Debray[2] un autre mode de reproduction de l'apatite, fondé sur l'action que l'acide chlorhydrique exerce à haute température sur le phosphate de chaux. Dans ces conditions, la transformation du phosphate en apatite est tellement complète que l'auteur du procédé a fondé sur cette réaction une méthode de dosage du phosphore.

Les méthodes suivies, l'une par H. Deville et Caron, les autres par M. Debray, sont susceptibles d'être généralisées, ainsi que l'ont démontré les expériences de ces savants chimistes.

Apatites diverses. — **H. Sainte-Claire Deville** et **Caron**[3] ont ainsi reproduit artificiellement les apatites de manganèse, de fer, de plomb (pyromorphite), de baryte, de strontiane, et montré qu'à l'aide du même procédé on pouvait obtenir les wagnérites de chaux, de magnésie, de manganèse et de fer.

Leurs expériences mettent en relief l'influence remarquable qu'exercent les bases des sels employés sur la

1. Debray, *C. r.*, t. LII, 1861, p. 44. — *Ann. de ph. et ch.*, t. LXI, 1861, p. 419.
2. Debray, *C. r.*, t. LIX, 1864, p. 42.
3. Deville et Caron, *Ann. de ph. et ch.*, 3e série, t. LXVII, 1863, p. 443.

constitution du produit de la réaction. Ainsi, l'oxyde de plomb, la baryte et la strontiane ne fournissent pas de wagnérite; la magnésie au contraire n'engendre pas d'apatite et il n'existe pas d'apatite chlorée de fer et de manganèse. Si l'on ne considère que les chlorophosphates (apatites et wagnérites chlorées), on voit, comme bases des apatites, figurer la chaux, la baryte, la strontiane et l'oxyde de plomb; comme bases des wagnérites, figurer la chaux, la magnésie, l'oxyde de manganèse et l'oxyde de fer.

Il existe donc ici deux séries parallèles entre lesquelles la chaux joue, pour ainsi dire, le rôle de pivot, rôle qu'elle remplit également dans d'autres séries minérales et particulièrement dans la série des carbonates (carbonates rhomboédriques et carbonates rhombiques).

M. Debray, généralisant sa méthode, a fait cristalliser par voie humide l'apatite de plomb et une arsénio-apatite de chaux analogue à l'apatite ordinaire (l'acide phosphorique y étant seulement remplacé par l'acide arsénique). En outre, il a montré que, par cette voie encore, les produits, obtenus avec la magnésie, l'oxyde de fer et l'oxyde de manganèse, appartenaient à un type différent de ceux qui étaient produits avec l'oxyde de plomb, la baryte et la strontiane. En effet, au lieu de chlorophosphates, il ne se produit, avec les sels des trois premiers oxydes, que des phosphates tribasiques.

Les apatites de manganèse, de baryte, de strontiane, produites artificiellement par H. Deville et Caron, n'existent pas dans la nature ou sont, du moins, d'une extrême rareté ; néanmoins, à cause de la relation intime qui existe entre elles et les apatites naturelles, nous croyons devoir ici inscrire quelques indications particulières sur les propriétés et le mode de préparation de chacune d'elles.

Apatite de manganèse. — Elle se prépare avec le phos-

phate tribasique d'ammoniaque ($3AzH^4O, PhO^5$), le fluorure de manganèse et un excès de chlorure du même métal. Les cristaux que l'on obtient sont très enchevêtrés. L'analyse a vérifié leur composition théorique.

Apatite de fer et de manganèse (*Eisen-apatit*). — On la prépare à l'aide du phosphate tribasique de fer, du chlorure de fer en petites proportions et d'un excès de chlorure de manganèse. Elle se présente en lamelles transparentes rougeâtres.

Apatite de baryte. — On la prépare avec le phosphate tribasique de baryte et le chlorure de baryum employé en excès. Elle constitue des petits cristaux prismatiques hexagonaux d'un grand éclat, terminés par des pointements rhomboédriques.

Apatite de strontiane. — On la prépare avec le phosphate tribasique de strontiane et le chlorure de strontium employé en excès, ou bien encore avec le phosphate tribasique d'ammoniaque et le chlorure de strontium en excès. Elle se présente en longs prismes hexagonaux, doués d'un vif éclat.

Apatite de plomb (*pyromorphite*). — Ce corps avait été reproduit avant les travaux de H. Sainte-Claire Deville et Caron; il a été signalé pour la première fois par **Nöggerath**[1] parmi les produits du fourneau d'Asbach près de Trèves. Les minerais de fer, traités dans cette usine, sont légèrement phosphorés et renferment des particules de minerai de plomb.

La pyromorphite[2] a été reproduite artificiellement pour

1. Nöggerath, *Jahr. f. Min.*, 1847, p. 37.
2. Manross, *Ann. Ch. Pharm.*, t. LXXXII, p. 388.

la première fois par **Manross**, en fondant, dans un creuset fermé, un mélange de phosphate de soude et de chlorure de plomb et laissant le culot se refroidir lentement.

Quand la matière ne possède plus qu'une température peu supérieure à la température de fusion du chlorure de plomb, on décante le chlorure encore fluide et la pyromorphite se montre tapissant les parois du creuset. Ce sont de longs prismes hexagonaux, terminés par les faces d'une pyramide. Le poids spécifique est égal à 7,008 et la composition est celle d'une apatite chlorée identique à la pyromorphite naturelle.

H. Sainte-Claire Deville et **Caron**[1] ont obtenu la pyromorphite, artificiellement cristallisée, en fondant un mélange de phosphate tribasique de plomb et de chlorure de plomb avec un excès de chlorure de sodium. L'identité de composition des cristaux ainsi produits avec la pyromorphite naturelle a été vérifiée par l'analyse. Les cristaux, que l'on obtient, sont des prismes hexagonaux doués d'un vif éclat. Pour les produire il faut avoir soin de ne pas dépasser la température du rouge vif.

M. Debray[2] a constitué artificiellement la pyromorphite cristallisée en mettant en présence, en vase clos à 250°, un mélange humide de phosphate de plomb ($2PbO, HO, PhO^5$) et de chlorure de plomb.

Pour terminer ce qui est relatif à l'histoire de la pyromorphite artificielle, nous ajouterons que ce minéral, fondu au chalumeau sur le charbon, donne après refroidissement une perle qui a une grande tendance à se couvrir de facettes cristallines. **Kenngott** a pu même obtenir ainsi des cristaux nettement individualisés.

Cependant, comme dans cette opération il peut y avoir

1. Henri Sainte-Claire Deville et Caron, *Ann. de ph. et ch.*, 3e série, t. LXVIII, 1863, p. 443. — *C. r.*, t. XLVII, 1858, p. 985.
2. Debray, *C. r.*, t. LII, 1861, p. 44.

perte de chlorure de plomb, il reste des doutes sur la composition du produit qui se forme.

WAGNÉRITES $\left\{ (3MO, PhO^5) + M \left\{ \begin{matrix} Fl \\ Cl \end{matrix} \right\} \right.$.

La wagnérite naturelle est un minéral de composition analogue à celle de l'apatite; mais la chaux y est remplacée par la magnésie. Sa forme cristalline diffère aussi de celle de l'apatite, car elle est monoclinique.

H. Sainte-Claire Deville et **Caron** [1] ont non seulement reproduit artificiellement ce minéral, mais encore fait cristalliser d'autres composés de même formule et de même constitution minéralogique, de manière à établir l'existence d'une série de wagnérites parallèle à la série des apatites. La méthode qu'ils ont employée est la même qui leur a servi à la reproduction des apatites. Elle consiste à fondre un mélange d'un phosphate tribasique et du chlorure ou du fluorure correspondant, en présence d'un excès de chlorure qui remplit l'office de dissolvant. Quelquefois, au lieu de la base appartenant à la wagnérite que l'on veut reproduire, on se sert avec plus d'avantage du phosphate tribasique d'ammoniaque.

Après refroidissement, on lessive le culot pour enlever l'excès de chlorure restant.

Cette série de wagnérites, bien que la plupart de ses termes fassent défaut dans la nature, est assez intéressante pour que nous passions en revue ses principales propriétés.

Wagnérite de magnésie fluorée ($3MgO, PhO^5 + MgFl$).

1. Henri Sainte-Claire Deville et Caron, *Ann. de ph. et ch.*, 3e série, t. LXVIII, 1863, p. 443.

— On la prépare avec un mélange de phosphate d'ammoniaque, de fluorure de magnésium et de chlorure de magnésium, ce dernier sel étant pris en grand excès.

Les cristaux que l'on obtient appartiennent, comme ceux de la wagnérite naturelle, au prisme rhomboïdal oblique. Les faces qui ont été déterminées sont p, m, h^1, o^1, g^3, $e^{1/2}$. Il est à remarquer que la face o^1 n'a pas été vue dans les cristaux naturels. Les angles mesurés sont : $p/e^{1/2} = 55°18'$, $e^{1/2}/e^{1/2} = 69°24'$, $m/m = 84°13'$, $p/h^1 = 71°58'$, $p/g^3 = 81°10'$, $e^{1/2}/g^3 = 35°55'$, $p/o^1 = 31°55'$, $h^1/o^1 = 40°3'$.

La composition du minéral a été vérifiée par l'analyse. Le poids spécifique est égal à 3,65.

Wagnérite de magnésie chlorée ($3MgO, PhO^5 + MgCl$). — Ce corps se prépare avec le phosphate d'ammoniaque et le chlorure de magnésium employé en grand excès.

Il est en gros cristaux peu réfléchissants, dont la forme est la même que celle de la wagnérite fluorée. Les angles mesurés sont : $g^1/h^1 = 103°$, $h^1/m = 42°$. La composition du produit a été établie par l'analyse.

Wagnérite de manganèse chlorée. — On prépare ce corps avec le phosphate d'ammoniaque et le chlorure de manganèse employé en excès. Il se présente en cristaux enchevêtrés dont la forme n'a pu être déterminée expérimentalement. La composition théorique a été vérifiée par l'analyse.

Wagnérite de fer et de manganèse chlorée $\left(3\left\{\begin{matrix}Fe\\Mn\end{matrix}\right\}O, PhO^5 + MnCl\right)$. — Ce corps s'obtient avec un mélange d'acide phosphorique, de chlorure de fer et de chlorure de manganèse.

Wagnérite complexe fluorée et chlorée à base de chaux et de magnésie. — On prépare ce composé avec un mé-

lange de phosphate tribasique de magnésie, de fluorure de calcium et de chlorure de calcium, ce dernier étant employé en grand excès. Les cristaux qui se forment appartiennent encore au système monoclinique, mais déjà ils s'écartent du type normal de la wagnérite. Ils sont allongés parallèlement à des faces o^2 et $a^{7/8}$ qui n'existent pas dans la wagnérite naturelle; les faces m, g^5, h^1 ne forment qu'une simple bordure. En outre, une des faces p et une des faces $a^{7/8}$ font défaut, ce qui indique une hémiédrie.

Wagnérite de chaux chlorée. — On prépare ce corps avec le phosphate tribasique de chaux et un excès de chlorure de calcium. Il se présente en petits cristaux ternes, mais cependant très nets. Ce sont des prismes orthorhombiques, mais les angles de la zone mm sont ceux de la zone correspondante du prisme oblique de la wagnérite magnésienne. Les angles mesurés sont : $m/m = 96°40'$, $m/h^1 = 138°25'$. La composition du minéral a été vérifiée par l'analyse. Le poids spécifique est égal à 3,05

XV

ARSENIC — ACIDE ARSÉNIEUX ARSÉNIURES — ARSÉNIATES CHLORO ET FLUO-ARSÉNIATES

ARSENIC NATIF.

1851. Sénarmont. — **1851.** Durocher.

L'extraction de ce corps, au moyen de l'acide arsénieux ou des pyrites arsenicales, est l'objet d'opérations industrielles qui s'effectuent sur une large échelle. Quel que soit le point de départ du traitement effectué, l'arsenic qui en résulte se présente toujours sous la forme d'une masse cristalline; quelquefois les cristaux qui se forment ainsi, atteignent des dimensions notables et présentent des formes rhomboédriques susceptibles d'une détermination goniométrique. Dans les laboratoires, par une distillation convenable de l'arsenic du commerce, on arrive aisément à obtenir de beaux cristaux.

Sénarmont[1] a montré que la cristallisation de l'arsenic pouvait aussi être obtenue par voie humide, en opérant sous pression à une température d'environ 300 degrés. Dans une première expérience, il a chauffé à 250°, dans

1. Sénarmont, *C. r.*, t. XXXII, p. 409. — *Ann. de ph. et ch.*, t. XXXII, p. 129. — *L'Inst.*, 1851, p. 97. — *Ann. Ch. Pharm.*, t. LXXX, p. 212.

une dissolution de bicarbonate de soude, le dépôt pulvérulent de sous-sulfure d'arsenic, que l'on obtient en traitant le réalgar ou l'orpiment par une dissolution de potasse; il se fait un sulfo-sel soluble, et l'arsenic se dépose sous la forme d'une poudre cristalline. Dans une seconde expérience, Sénarmont est arrivé au même résultat en traitant le réalgar par une dissolution de bicarbonate de soude, à la température de 325°.

Durocher a annoncé[1] qu'il avait fait cristalliser l'arsenic, en décomposant à haute température un chlorure d'arsenic par l'hydrogène.

Application à la géologie. — L'arsenic natif est un minéral de filon concrétionné. La méthode de Sénarmont explique sa production dans la nature. Le procédé de Durocher peut aussi, dans certains cas, lui avoir donné naissance.

ARSÉNITE (AsO^3).

L'acide arsénieux est dimorphe. On le trouve, dans la nature, cristallisé en octaèdres réguliers et plus rarement en prismes orthorhombiques.

Quand on le fond et qu'on refroidit brusquement la matière fondue, on obtient une masse vitreuse, transparente, qui, au bout de quelque temps, perd sa limpidité et se transforme en un fin agrégat de cristaux octaédriques.

L'acide arsénieux, soumis à la sublimation et condensé rapidement, se dépose sous forme d'une poudre blanche composée de petits octaèdres ou tétraèdres réguliers.

1. Durocher, *C. r.*, t. XXXII, 1851, p. 823.

Généralement ces cristaux sont tout à fait microscopiques; cependant, dans certaines circonstances favorables, ils acquièrent des dimensions notables. **Wöhler**[1], **Döbereiner**[2], **Laube**[3], **Mayençon**[4], ont signalé de tels cas, observés soit dans des produits d'usine, soit dans les matières résultant de la combustion de mines de houille ou de lignites pyriteux et arsenicaux.

L'acide arsénieux cristallise aussi par voie humide. Une solution, soit dans l'eau pure, soit dans une liqueur alcaline, fournit aisément de beaux cristaux, qui sont des octaèdres ou, plus souvent encore, des tétraèdres réguliers.

M. Debray[5] a montré l'influence de la température sur la forme cristalline de l'acide arsénieux. Il obtient la forme rhomboïdale en opérant la cristallisation dans l'eau vers 250 degrés, ou, ce qui est plus commode, en faisant condenser la vapeur d'acide arsénieux sur une surface maintenue à plus de 250 degrés ; au-dessous de cette température, ce sont des octaèdres réguliers qui se produisent.

ACIDE ARSÉNIEUX RHOMBIQUE (AsO^3).

1848. Pasteur. — Hirzel. — **1864.** Debray.

La modification orthorhombique de l'acide arsénieux n'a été observée que rarement dans la nature. Elle a été signalée par **Ulrich**[6] dans les produits d'un fourneau de

1. Wöhler, *Pogg. Ann.*, 1832, t. XXVI, p. 182.
2. Döbereiner, *Jahrb. f. Min.*, 1837, p. 248.
3. Laube, *Jahrb. f. Min.*, 1866, p. 227.
4. Mayençon, *C. r.*, t. LXXXVI, 1878, p. 491.
5. Debray, *C. r.*, t. LVIII, 1864, p. 1209.
6. Ulrich, *Arch. Ph.*, t. XIII, 9, 267. — *Ph. cent.* 1852, p. 955.

grillage de minerais arsenicaux. Les cristaux recueillis étaient des prismes pyramidés, déjà intérieurement transformés en un agrégat de petits octaèdres réguliers. Des faits analogues ont été observés par Wöhler, dans les produits des fours de grillage des minerais d'arsenic.

M. Pasteur[1] a montré que l'acide arsénieux cristallisait aisément en prismes par voie humide. Le procédé qu'il a employé, consiste à saturer à chaud une solution alcaline avec de l'acide arsénieux et à abandonner ensuite la dissolution à un refroidissement lent.

La cristallisation lente de l'acide arsénieux, dissous dans l'acide sulfurique étendu, fournit également de beaux cristaux prismatiques.

L'influence de la température sur la forme cristalline est aussi évidente quand on emploie la voie humide que lorsqu'on a recours à la voie sèche. Ainsi, **Hirzel**[2] a montré qu'une solution ammoniacale, saturée à chaud d'acide arsénieux, abandonnait surtout des prismes quand on la refroidissait brusquement, tandis qu'elle fournissait surtout des octaèdres quand le refroidissement s'opérait lentement. Mais l'expérience la plus concluante, au point de vue de l'influence en question, est celle dans laquelle **M. Debray**[3] a montré que l'acide arsénieux, dissous dans l'eau en vase clos à 250°, se sépare en prismes tant que la température de la dissolution est supérieure à 200°. A partir de ce point, plus la température s'abaisse et plus le nombre des octaèdres qui se déposent devient considérable.

M. Debray a également montré que l'on pouvait très aisément reproduire, par voie sèche, cette modification de l'acide arsénieux. Il suffit, en effet, d'opérer la condensa-

1. Pasteur, *J. ph.*, t. XIII, 1848, p. 395. — *Jahresb.* 1847-48, p. 422.
2. Hirzel, Mémoire de Fuchs, p. 82.
3. Debray, *C. r.*, t. LVIII, p. 1209. — *L'Inst.*, 1864, p. 204. — *Jahresb.* 1864, p. 236.

tion des vapeurs de cet acide sur une paroi maintenue à une température de 250° environ. Aux températures plus basses, la cristallisation se fait en octaèdres.

L'expérience suivante, due à M. Debray, met parfaitement en évidence l'influence de la température sur le mode de cristallisation de l'acide arsénieux par voie sèche : un tube fermé, contenant de l'acide arsénieux, est maintenu vertical dans un bain de sable, de telle sorte que sa partie inférieure se trouve chauffée à 400° et sa partie supérieure seulement à 200°. Après refroidissement, on trouve au fond du tube de l'acide arsénieux vitreux, au milieu des cristaux prismatiques, et en haut des octaèdres réguliers.

SMALTINE (Co As).

1851. Durocher.

Durocher[1] a obtenu la smaltine en cristaux cubiques en faisant réagir, à haute température, l'hydrogène sur un mélange des deux chlorures de cobalt et d'arsenic.

Application à la géologie. — Le procédé de Durocher peut avoir été mis en œuvre par la nature, dans les filons concrétionnés qui contiennent la smaltine.

1. Durocher, *C. r.*, t. XXXII, 1851, p. 823.

NICKELINE (Ni^2As).

1851. Durocher.

Ce minéral a été observé plusieurs fois, à l'état de cristaux accidentellement reproduits, dans les usines, où l'on traite les minerais de nickel ou de cobalt, et particulièrement dans les fabriques de bleu de cobalt. Des faits de ce genre ont été signalés par **Gurlt, Wöhler, Dobereiner.** Une certaine incertitude règne cependant sur l'identité de ces produits avec le minéral naturel. Les différences constatées portent, soit sur la composition, soit sur la forme cristalline.

Des variations analogues de composition et de forme cristalline s'observent dans les produits qui prennent naissance quand on chauffe en vase clos un mélange d'arsenic et de nickel pulvérulent, ou encore, quand on réduit au rouge l'arséniate de nickel dans un creuset de charbon.

Durocher[1] a obtenu la nickeline en faisant passer, au rouge, de l'hydrogène et des vapeurs d'acide arsénieux sur du chlorure de nickel.

Application à la géologie. — La nickeline est un minéral de filons concrétionnés. L'expérience de Durocher peut rendre compte, dans certains cas, de sa production naturelle.

1. Durocher, expériences de 1851.

ARGENT ARSÉNIÉ ($Ag^4 As$).

Ce corps s'obtient aisément à l'état d'une masse métallique, cassante, finement grenue, quand on fond un mélange d'arsenic et d'argent pulvérisé. Il n'a pas été obtenu sous forme cristalline.

HAIDINGERITE ($2 CaO, HO, AsO^5 + 3 HO$).

1861-1864. Debray.

Ce minéral a été reproduit artificiellement par M. **Debray**[1] en faisant digérer à froid, sur le carbonate de chaux, une dissolution d'acide arsénique employée en excès.

Cette méthode est susceptible d'être généralisée. D'après les travaux de M. Debray, on peut conclure qu'en l'appliquant aux carbonates insolubles du groupe ferro-magnésien, on obtiendrait les arséniates hydratés correspondant à chaque base, représentés par la formule générale :

$$2 Mo, HO, AsO^5$$

Ces composés ont été du reste obtenus par le même savant en précipitant un sel du groupe ferro-magnésien par l'arséniate d'ammoniaque et soumettant le précipité, en présence de l'eau, à des variations alternantes de température, depuis la température ordinaire jusqu'à 80°[2].

1. Debray, *C. r.*, t. LII, 1861, p. 44. — *Ann. de ph. et ch.*, t. LXI, 1861, p. 419.
2. Debray, *C. r.*, t. LIX, 1864, p. 40.

A ces arséniates correspond une série de phosphates qui ont été étudiés et décrits par M. Debray, mais dont les équivalents ne se trouvent pas dans la nature. Tous ces sels, arséniates et phosphates, cristallisent en beaux octaèdres orthorhombiques.

Application à la géologie. — L'haidingerite est un produit secondaire des filons concrétionnés. Les procédés synthétiques, mis en œuvre par M. Debray, peuvent expliquer sa production naturelle.

SCORODITE (Fe^2O^3, $AsO^5 + 4HO$).

1880. Verneuil et Bourgeois.

MM. Verneuil et Bourgeois[1] ont reproduit artificiellement la scorodite en soumettant le fer métallique à l'action d'une dissolution concentrée d'acide arsénique, dans un tube scellé, chauffé à la température de 140°. Au bout d'une heure, le fer, employé à l'état de fil fin, se couvre de petits cristaux d'acide arsénique et d'arséniate de fer amorphe; le tout forme une gelée grise. Bientôt la gelée se change en scorodite; puis une nouvelle quantité d'arséniate amorphe prend naissance et se transforme à son tour, jusqu'à ce qu'au bout de huit jours de traitement, la solution acide, devenue trop étendue, n'attaque plus le fer.

L'opération terminée, on trouve le fil de fer, employé en excès, couvert de beaux cristaux de scorodite et de gros cristaux d'acide arsénique. On dissout ces derniers dans

1. Verneuil et Bourgeois, *C. r.*, t. XC, 1880, p. 223.

de l'ammoniaque et l'on enlève les parcelles de fer mélangées, au moyen d'une lévigation.

Les cristaux de scorodite formés sont inattaquables par l'acide nitrique et l'acide sulfurique, attaqués à 100° par l'acide chlorhydrique, et à froid par la potasse caustique, avec dépôt d'hydrate de peroxyde de fer. Leur poids spécifique est égal à 3,28, leur chaleur spécifique égale à 0,1936.

Ces cristaux sont orthorhombiques. Les paramètres sont 1,160 : 1 : 1,128.

Les faces les plus développées sont les faces $b^{1/2}$. Comme faces secondaires, sont signalées les faces p, h^1, g^5, a^1, $a^{1/2}$, e^2.

Parmi les angles mesurés, nous citerons : $b^{1/2}/b^{1/2} = 114°24'$; $g^5/g^5 = 120°$; $a^{1/2}/a^{1/2} = 132°10'$; $e^2/e^2 = 127°47'$.

L'orientation du plan des axes optiques et l'écartement de ces axes sont les mêmes que dans les cristaux naturels. La composition indiquée par l'analyse, est sensiblement la composition théorique.

Ce travail est un des plus complets qui aient jamais été faits sur un produit minéral de reproduction artificielle.

OLIVÉNITE ($3CuO, AsO^5 + CuO, HO$).

1871. Debray.

M. Debray[1] a montré qu'en faisant réagir l'azotate de cuivre sur l'arséniate de chaux, à une température de 50 à 60°, on obtenait une matière bleue, amorphe, à l'aide de laquelle on pouvait artificiellement reproduire l'oli-

1. Debray, *C. r.*, t. LII, 1861, p. 44.

vénite. Il suffit, en effet, pour cela de chauffer cette matière à une température un peu supérieure à 100°, soit avec de l'eau pure, soit mieux encore, avec une dissolution d'azotate de cuivre. Les cristaux qui se forment sont des petits octaèdres de couleur olive, identiques avec les cristaux naturels d'olivénite.

APATITES ET WAGNÉRITES ARSÉNIÉES

1861. Debray. — 1867. Lechartier.

Il n'existe dans la nature qu'un seul représentant de ces deux familles de minéraux ; ce représentant est le chloro-arséniate de plomb, connu sous le nom de **mimétèse**. Aussi l'intérêt qui s'attache à la reproduction artificielle des apatites et des wagnérites arséniées tient moins à l'identification de l'un de ces produits avec un minéral naturel, qu'au fait remarquable de la reconstitution de deux séries de composés, parallèles aux séries des apatites et des wagnérites phosphatées.

M. Debray[1] a reproduit l'apatite arséniée par un procédé analogue à celui qui a été appliqué par H. Deville et Caron à la reproduction des apatites phosphatées.

Mais en outre ce savant chimiste a obtenu l'apatite arséniée cristallisée par voie humide ; l'expérience se fait en chauffant à 250°, en vase clos, de l'arséniate de chaux ($2CaO, HO, AsO^5$) dans une dissolution de chlorure de calcium.

C'est à M. **Lechartier**[2] qu'on doit l'étude la plus com-

1. Debray, *C. r.*, t. LII, 1861, p. 44. — *Ann. de ph. et ch.*, 3e série, t. LXI.
2. Lechartier, *C. r.*, t. LXV, 1867, p. 172.

plète sur la reproduction des apatites et wagnérites arséniées. Il a recouru à la méthode de H. Deville et Caron, en substituant des arséniates aux phosphates.

Les creusets de charbon ne sont pas employés à cause de la réduction aisée de l'acide arsénique ; les opérations se font dans des creusets de porcelaine, renfermés eux-mêmes dans des creusets de terre.

Pour obtenir l'apatite arséniée de strontiane, de même que pour produire les wagnérites arséniées de magnésie et de manganèse, il est avantageux d'employer l'arséniate d'ammoniaque avec un excès du chlorure qui doit entrer dans la constitution du produit que l'on cherche à obtenir.

Les bases respectives des deux séries arséniées sont les mêmes que celles des deux séries phosphatées. Ici encore la chaux joue le rôle de corps pivot et figure aussi bien dans la série des apatites que dans celle des wagnérites. Tout chloro-arséniate de chaux fluoré est une apatite, mais quand le chloro-arséniate n'est pas fluoré on peut l'obtenir à volonté sous forme d'apatite ou sous forme de wagnérite. Il suffit pour cela de faire intervenir dans l'opération un degré de température convenable. Au rouge vif, il se produit une apatite. Si la température est peu supérieure à celle de fusion du chlorure de calcium, c'est de la wagnérite qui se forme ; enfin aux températures intermédiaires on obtient un mélange des deux formes cristallines.

On doit remarquer encore que tout chloro-arséniate de magnésie est une wagnérite, quand même il est fluoré.

Les apatites arséniées, obtenues par M. Lechartier, sont les suivantes :

	$3\,(3\,CaO, AsO^5) + CaCl.$	poids spécifique 3,55
	$3\,(3\,CaO, AsO^5) + \left\{ \begin{matrix} CaCl. \\ CaFl. \end{matrix} \right.$	
Mimetèse. . .	$3\,(3\,PbO, AsO^5) + PbCl.$	» » 3,73
	$3\,(3\,SrO, AsO^5) + SrCl.$	
	$3\,(3\,BaO, AsO^5) + BaCl.$	

Les wagnérites arséniées sont les suivantes :

$3\,CaO,\ AsO^5 + CaCl.$

$3\,MgO,\ AsO^5 + MgCl.$ poids spécifique 3,45

$3\,MgO,\ AsO^5 + \left\{\begin{array}{l} MgCl. \\ MgFl. \end{array}\right.$

$3\,MnO,\ AsO^5 + MnCl.$

XVI

ANTIMOINE — ACIDE ANTIMONIEUX ANTIMONIURES

ANTIMOINE.

1851. Durocher.

L'antimoine, consolidé après fusion, prend une structure cristalline très marquée. On peut même obtenir des cristaux distincts de ce minéral, en perçant la croûte solide qui se forme au commencement du refroidissement, et faisant écouler la portion encore fluide. Les cristaux, qui se produisent ainsi, sont des rhomboèdres de 87°. Ils diffèrent de ceux de la nature par l'absence de la troncature basale et des facettes du rhomboèdre obtus a^2.

Les arborisations que l'on remarque à la surface des morceaux d'antimoine, solidifiés après fusion, sont dues, d'après **Rammelsberg**, à des groupements de rhomboèdres, disposés parallèlement à partir d'un centre commun, suivant des rayons écartés de 120°, les uns des autres.

L'antimoine, obtenu par voie humide, se montre aussi avec une structure cristalline, mais cette structure est moins marquée que dans les produits de la voie sèche.

Durocher[1] a obtenu des prismes hexagonaux d'anti-

1. Durocher, *C. r.*, t. XXXII, 1851, p. 823.

moine en réduisant le chlorure de ce métal par l'hydrogène, à haute température.

SÉNARMONTITE ($Sb\,O^3$).

1848. Pasteur.

L'oxyde d'antimoine composé est dimorphe. On le trouve dans la nature en octaèdres réguliers; il forme alors la variété connue sous le nom de sénarmontite. On le trouve aussi en cristaux orthorhombiques, constituant la variété qui a reçu le nom de valentinite.

Ces deux variétés de l'oxyde d'antimoine sont remarquables en ce qu'elles sont les analogues des deux variétés que donne l'oxyde d'arsenic également dimorphe. L'une et l'autre ont été reproduites artificiellement.

On les obtient simultanément par sublimation. Quand on chauffe l'antimoine à une température voisine de celle à laquelle il s'enflamme au contact de l'air, et qu'on le laisse ensuite refroidir lentement, le culot que l'on obtient se montre couvert de nombreux prismes de valentinite et de quelques octaèdres de sénarmontite.

La cristallisation de l'oxyde d'antimoine octaédrique s'opère plus aisément encore par voie humide. Quand on fait bouillir une lessive de soude, contenant en suspension de l'oxyde d'antimoine pulvérulent, une portion de cet oxyde se dissout et se dépose ensuite sous forme de cristaux de sénarmontite, quand on laisse refroidir lentement la dissolution.

Des cristaux microscopiques de sénarmontite constituent le précipité qui se forme, quand on traite une dis-

solution d'émétique par l'ammoniaque, la potasse ou le carbonate de potasse.

Une solution de chlorure d'antimoine dans l'acide chlorhydrique, traitée par un alcali, fournit un précipité floconneux qui se transforme peu à peu en cristaux octaédriques, par suite des variations de température, même quand on opère à la température ordinaire.

M. Pasteur[1] a obtenu des cristaux de sénarmontite en faisant digérer pendant plusieurs jours, avec un excès de carbonate de soude, l'oxychlorure d'antimoine (poudre d'algaroth) récemment précipité.

Les cristaux de sénarmontite obtenus par ces divers procédés sont généralement nets et brillants, doués de clivages faciles suivant les faces de l'octaèdre. Le poids spécifique est d'environ 5,3.

VALENTINITE ($Sb\,O^3$).

1864. Debray.

On reproduit artificiellement, avec une grande facilité, cette variété orthorhombique d'oxyde d'antimoine. Quand on chauffe l'antimoine au contact de l'air à une température suffisante pour amener son inflammation, il se produit une fumée blanche qui, en se condensant, dépose des prismes de 137°, identiques aux échantillons naturels de valentinite. L'opération se fait, soit dans un tube, soit dans un creuset. On peut même, en employant le chalumeau, transformer un petit morceau d'antimoine en un globule recouvert d'aiguilles prismatiques de valentinite.

1. Pasteur, *J. de pharm.*, t. XIII, 1848, p. 395.

Les fourneaux, dans lesquels on grille le sulfure d'antimoine, fournissent fréquemment de beaux cristaux de ce composé, lesquels s'observent soit dans les cavités des scories, soit en druses dans les fissures des fours. L'éclat, le poids spécifique, les clivages, la forme cristalline sont ceux des cristaux naturels.

La valentinite s'obtient encore par voie humide, quand on mélange à chaud deux dissolutions, l'une de chlorure d'antimoine dans l'acide chlorhydrique, l'autre de carbonate de soude.

M. Debray[1] a montré qu'en décomposant l'oxychlorure d'antimoine par l'eau, comme l'a fait M. Pasteur pour produire la sénarmontite, on obtenait des cristaux orthorhombiques de valentinite, si la transformation s'opère en vase clos au-dessus de 100 degrés.

Application à la géologie. La sénarmontite et la valentinite sont des minéraux des chapeaux de filons concrétionnés. Tous les procédés synthétiques mentionnées plus haut peuvent leur avoir donné naissance dans la nature.

NICKEL ANTIMONIÉ (Ni^2Sb).

En fondant un mélange en proportions convenables de nickel pulvérisé et d'antimoine, on obtient une masse douée de la couleur et de l'éclat métallique du nickel antimonié naturel.

Des cristaux rhombiques de ce corps ont été observés par **Sandberger** dans l'usine à plomb de Holzappel et par **Hausmann** dans celles de Clausthal. Cependant les

1. Debray, *C. r.*, t. LVIII, 1864, p. 1209.

données, fournies par les analyses, étant le plus souvent loin de concorder avec la composition théorique du minéral, il y a lieu de douter de l'assimilation des produits artificiels avec le minéral naturel.

ARGENT ANTIMONIÉ ($Ag^4 Sb$).

Le produit, résultant de la fusion d'un mélange d'argent et d'antimoine, se présente sous l'aspect d'une matière métallique, cassante, sans facettes cristallines nettement distinctes. En décomposant une dissolution de nitrate d'argent au moyen d'une lame d'antimoine, on n'obtient aussi que des lamelles irrégulières. La reproduction artificielle de l'argent antimonié naturel, qui s'observe fréquemment en beaux cristaux rhombiques, peut donc être considérée comme n'ayant pas encore été effectuée.

XVII

XVII. (α). SOUFRE — SULFURES OXYSULFURES

SOUFRE.

Le soufre est un corps intermédiaire entre les substances cristalloïdes et les matières colloïdes. Il peut, en effet, affecter les propriétés de ces deux catégories de substances, mais là ne s'arrêtent pas les particularités qui le distinguent. Aussi bien à l'état colloïde qu'à l'état cristalloïde, il est susceptible de présenter des modifications diverses, inégalement stables.

A l'état de corps cristalloïde, il est dimorphe. On l'observe dans la nature sous forme de prismes monocliniques et d'octaèdres rhombiques. La première forme se produit quand le soufre cristallise par voie de fusion ou de volatilisation lente, comme on l'observe dans les volcans. La seconde se manifeste particulièrement dans les cas où il doit son origine à l'intervention de la voie humide. On sait en outre que le soufre prismatique se transforme spontanément, avec une grande rapidité, en soufre octaédrique, au moins dans les conditions naturelles ordinaires. Nous devons encore ajouter que M. Silvestri [1], et plus tard M. Friedel, ont constaté l'existence de cris-

1. Silvestri, *Gazz. chim. ital.*, t. III, 1873, p. 578.

taux de soufre soit naturels, soit artificiels, dont les formes doivent être rapportées au système triclinique.

Le soufre, colloïde ou amorphe, présente aussi deux variétés très distinctes, l'une qui se dissout aisément dans le sulfure de carbone, l'autre complètement insoluble dans ce liquide. **Ch. Sainte-Claire Deville**[1], auquel on doit la distinction de ces deux variétés de soufre amorphe, a montré qu'elles présentaient aussi des différences remarquables sous le rapport de la structure, de la densité, de la chaleur spécifique et surtout sous le rapport de la stabilité. Le soufre amorphe soluble se transforme aisément en soufre cristallisé, avec développement de chaleur. Le soufre amorphe insoluble est en globules creux ; il possède une densité supérieure et une chaleur spécifique inférieure à celles du soufre soluble ; il est très stable à la température ordinaire, à peine soluble dans quelques liquides carburés (éther, alcool, benzine), indifférent aux actions chimiques, qui attaquent rapidement l'autre variété de soufre amorphe.

Reproduction des variétés cristallines. — Les diverses variétés de soufre naturel, cristallines ou amorphes, sont facilement reproduites dans le laboratoire. Des recherches entreprises par divers savants ont montré que le soufre octaédrique pouvait être obtenu directement par voie de dissolution, et inversement que le soufre octaédrique pouvait être engendré par voie de fusion ; chacune de ces deux variétés cristallines ne présente donc pas un mode exclusif de reproduction.

Citons rapidement les principaux faits sur lesquels reposent ces conclusions. La formation du soufre octaédrique par voie de fusion a été observée plusieurs fois dans des usines où le soufre était fondu ou distillé, à Ocker

1. Ch. Sainte-Claire Deville, *C. r.*, t. XXV, 1847, p. 857. — *Id.*, t. XXVI, 1848, p. 9. — *Id.*, t. XXXIV, 1852, p. 534 et 561.

dans le Harz par **Ulrich**[1], à Strasbourg par **M. Daubrée**. Elle a été signalée par **Gergens**[2] dans un échantillon de bitume de Lobsam, ayant séjourné quinze ans dans une collection.

La production du soufre prismatique, par voie de dissolution dans le sulfure de carbone et évaporation à la température ordinaire, a été annoncée pour la première fois par **M. Pasteur**[3]. Peu de temps après, **Ch. Sainte-Claire Deville**[4] montrait que des cristaux de ce genre proviennent aisément de dissolutions du soufre dans d'autres liquides. Ainsi la benzine, saturée de soufre à chaud, abandonne par refroidissement un épais dépôt de cristaux prismatiques ; l'alcool fournit un mélange des deux variétés de soufre cristallisé. Les expériences de **Royer**[5] ont établi que les cristaux obtenus par refroidissement d'une dissolution chaude de soufre dans l'essence de térébenthine étaient de forme différente, suivant les conditions dans lesquelles s'effectuait la cristallisation; un refroidissement brusque amène la formation de cristaux prismatiques, tandis qu'il se forme des cristaux octaédriques quand l'abaissement de température se fait lentement.

A l'aide d'un refroidissement brusque, **M. Debray**[6] a pu obtenir aussi des cristaux de soufre prismatiques d'une dissolution de sulfure de carbone saturée. L'opération se fait de la façon suivante : du soufre est introduit, avec la moitié de son poids de sulfure de carbone, dans un tube de verre. On fait le vide dans le tube et on chauffe à 80°, puis tout à coup on plonge l'appareil dans l'eau froide en

1. Ulrich, *Berg und Hütt. Zeit.*, 1854, p. 97.
2. Gergens, *J. f. Min.*, 1861, p. 551.
3. Pasteur, *C. r.*, t. XXVI, 1848, p. 48. — *Ann. de ph. et ch.*, t. XXIV, p. 459. — *Pogg. Ann.*, t. LXXIV, p. 94.
4. Ch. Sainte-Claire Deville, *l'Inst.*, t. XX, 1852, p. 113. — *C. r.*, t. XLIV, p. 382.
5. Royer, *C. r.*, t. XLVIII, 1859, p. 845. — *Jahresb.*, 1859, p. 81.
6. Debray, *C. r.*, t. XLVI, p. 576. — *L'Inst.*, 1858, p. 105. — *Jahresb.*, 1858, p. 83

le secouant vivement. Bientôt on voit paraître de longs prismes transparents de soufre.

Le soufre prismatique produit par voie de dissolution se transforme rapidement en soufre octaédrique, en perdant sa transparence, exactement comme on l'observe avec celui qui a cristallisé par voie de fusion. **Mitscherlich** [1] a montré que cette transformation était accélérée par une action mécanique, exercée sur les cristaux, ou par leur introduction dans une dissolution de soufre dans le sulfure de carbone.

On doit à **M. Gernez** [2] un travail très remarquable sur les circonstances qui président à la production des deux variétés cristallisées de soufre. Ce savant a montré que dans le soufre surfondu, c'est-à-dire maintenu liquide à une température inférieure à celle de sa fusion, on pouvait à volonté développer une cristallisation en prismes monocliniques ou en octaèdres rhombiques. Il suffit de semer dans le liquide un cristal appartenant à l'une ou à l'autre de ces formes. L'expérience se fait avec netteté, en disposant le soufre surfondu dans un tube en U dont les deux branches sont réunies par une partie rétrécie. Un cristal de soufre octaédrique est semé dans le liquide de l'une des branches ; aussitôt une cristallisation de même nature s'y développe ; elle progresse lentement à cause du dégagement de chaleur latente qu'elle occasionne. Au bout de quelque temps, si l'on introduit un cristal prismatique de soufre dans la matière demeurée surfondue de l'autre branche, on y voit en quelques secondes tout le liquide se transformer en cristaux prismatiques. Cette rapidité plus grande s'explique par le moindre dégagement de chaleur latente de ce côté. Bientôt tout le contenu du tube est solidifié. Dans les premiers moments, les

1. Mitscherlich, *Berl. Ac. Ber.*, 1852, p. 636. — *Pogg. Ann.*, t. LXXXVIII, p. 328. — *L'Inst.*, 1853, p. 193. — *J. f. pr. Ch.*, t. LVIII, p. 239.
2. Gernez, *C. r.*, t. LXXXIII, 1876, p. 217.

cristaux du soufre engendrés dans les deux branches du tube sont également transparents, mais au bout de quelque temps, le soufre prismatique se transforme et devient opaque, tandis que l'autre conserve sa transparence.

M. Gernez a montré encore que le soufre surfondu était susceptible de cristalliser sans intervention d'un semis quelconque de cristaux. Il suffit pour atteindre ce résultat à une température supérieure à 60°, de produire un ébranlement moléculaire rapide dans le liquide, en refroidissant brusquement, par exemple, un point limité de la masse surfondue, ou encore en y frottant deux corps solides l'un contre l'autre. Dans ce cas, c'est toujours une cristallisation en prismes qui s'opère, d'où l'on peut conclure qu'à partir de 60°, la forme prismatique est la forme d'équilibre du soufre cristallisé.

Reproduction des variétés amorphes. — Le soufre amorphe s'obtient par voie de fusion et de volatilisation, avec refroidissement rapide, ou par décomposition de combinaisons sulfurées (hydrogène sulfuré, polysulfures alcalins, chlorures de soufre, etc.). Dans ces opérations diverses, on obtient généralement un mélange de soufre insoluble et de soufre soluble. Quand le soufre insoluble est produit par l'action de la chaleur suivie d'un refroidissement brusque, il est d'autant plus abondant et plus stable qu'il s'est formé à température plus élevée et que le refroidissement a été plus rapide. Celui que l'on extrait de la fleur de soufre, ne se modifie pas à la température ordinaire, mais à 100°, il se convertit peu à peu en soufre octaédrique. Celui que l'on tire du soufre mou, obtenu par la trempe du soufre surfondu, se change à la température ordinaire en soufre cristallisé après un temps plus ou moins long ; au bout de deux ans, la transformation peut ne pas être encore complètement effectuée.

La présence du soufre insoluble dans le soufre précipité chimiquement est constante, lorsque la séparation s'ef-

fectue en présence d'une liqueur franchement acide et la dose en diminue ou disparaît, quand la liqueur est neutre.

Les variétés de soufre insoluble, qui en résultent, se distinguent les unes des autres par la facilité avec laquelle elles peuvent être ramenées à l'état du soufre octaédrique.

CHALCOSINE (Cu^2S).

1831. Mitscherlich. — **1851.** Durocher. — **1852.** Becquerel. **1877.** Margottet.

Ce corps, exclusivement orthorhombique dans la nature, s'est montré dimorphe dans les reproductions artificielles. La seconde forme se rapporte au système cubique.

M. **Daubrée** [1] a trouvé des cristaux de chalcosine accidentellement développés sur des monnaies et des instruments de cuivre ayant longtemps séjourné dans le sol humide (Bourbonne-les-Bains, Plombières, etc.) La chalcosine, trouvée ainsi à Bourbonne-les-Bains, se présente en tables hexagonales avec bordure en biseau. Les cristaux sont parfois maclés deux à deux en croix, disposition fréquente dans l'espèce naturelle.

M. **De Gouvenain** [2] a recueilli aussi des cristaux de cuivre sulfuré sur des morceaux de cuivre ayant séjourné longtemps dans la source thermale de Bourbon-l'Archambault.

Deux échantillons de la variété cubique, provenant des usines de Mansfeld ont été analysés par **Rammelsberg** [3]

1. Daubrée, *C. r.*, t. LXXX, 1875, p. 461.
2 De Gouvenain, *C. r.*, t. LXXX, 1875, p. 1297.
3. Rammelsberg, *Métallurgie*, p. 224.

qui a reconnu dans leur composition la présence du fer, du nickel, du cobalt, du zinc et du manganèse, y figurant comme éléments isomorphes du cuivre. Les cristaux en question sont d'un rouge violacé ; les faces observées sont celles de l'octaèdre, seules ou associées aux faces du cube. Le poids spécifique est compris entre 4,7 et 5,5. Ces échantillons avaient été recueillis dans les fentes de la sole d'un fourneau.

Un échantillon de la variété rhombique a été trouvé dans un four à reverbère de Freyberg, reposant sur une couche de galène artificielle. La petitesse et le peu d'abondance des cristaux n'en ont pas permis l'analyse, mais la forme cristalline a été l'objet d'une étude attentive de la part de **Scheerer**, ce qui a rendu possible l'assimilation de ce produit artificiel avec la chalcosine naturelle.

La variété octaédrique régulière a été obtenue artificiellement par **Mitscherlich** [1], en fondant un mélange, en proportions convenables, de cuivre et de soufre.

Durocher [2] a reproduit la variété rhombique en faisant arriver simultanément, dans un tube chauffé au rouge, des vapeurs de chlorure de cuivre et un courant d'hydrogène sulfuré. Il se dégage de l'acide chlorhydrique et l'on obtient un dépôt de lamelles hexagonales aplaties parallèlement à la base du prisme. Les côtés de l'hexagone correspondent aux faces m et g^1.

Becquerel [3] a réalisé la cristallisation du sulfure de cuivre par l'application de sa méthode ordinaire (voir page 310). Les cristaux obtenus sont des prismes à six pans, maclés, semblables à ceux de la nature.

Sénarmont [4], en chauffant à 200° dans un tube scellé à la lampe, des dissolutions mélangées de sulfate de cuivre,

1. Mitscherlich, *Pogg. Ann.*, t. XXVIII, 1831, p. 157.
2. Durocher, *C. r.*, t. XXXII, 1851, p. 825.
3. Becquerel, *C. r.*, t. XXXIII, 1852, p. 38.
4. Sénarmont, *Ann. ph. ch.*, t. XXXII, 1851, p. 129.

XXXIII

de bicarbonate de soude et de sulfure de potassium, n'a produit qu'un dépôt de matière amorphe.

Le cuivre, chauffé à 200° en vase clos, en présence d'une dissolution d'acide sulfureux, suivant la méthode de **Geitner**, ne fournit aucun résultat satisfaisant. Quand on opère dans les mêmes conditions avec une dissolution de sulfite de cuivre, on obtient des lamelles cristallines dont la composition diffère de celle de la chalcosine.

M. Margottet[1] a obtenu le sulfure de cuivre cristallisé en faisant passer lentement, sur du cuivre chauffé au rouge sombre, un courant d'azote chargé de vapeur de soufre. La forme de cristaux est celle de l'octaèdre régulier transposé d'Haüy. Leur poids spécifique est égal à 5,65.

Application à la géologie. — La chalcosine est un minéral filonien. L'expérience de Durocher et celle de Becquerel peuvent expliquer quelques-uns de ses gisements dans la nature.

STROMÉYÉRINE ($Cu^2S + AgS$).

1877. MARGOTTET.

M. Margottet[2] a reproduit ce composé par l'emploi de la méthode qu'il a appliquée à la cristallisation des sulfures et séléniures simples (voir ci-dessus à propos de la chalcosine). Les cristaux sont des octaèdres réguliers normaux ou des octaèdres transposés. Il est à remarquer que la stroméyérine naturelle est orthorhombique. Ce

1. Margottet, *C. r.*, t. LXXXV, 1877, p. 1142.
2. Margottet, *C. r.*, t. LXXXV, 1877, p. 1142.

composé est donc dimorphe ainsi que le sulfure simple Cu^2S.

M. Margottet a reproduit aussi le composé ($Cu^2S+2AgS$) de même forme que le précédent. La jalpaïte ($Cu^2S+3AgS$), produit naturel découvert par Berzélius, cristallise en octaèdres réguliers comme les stroméyérines de M. Margottet.

BLENDE (Zn S).

1851. Sénarmont. — **1851.** Durocher. — **1881.** Baubigny.

La production accidentelle du sulfure de zinc, cristallisé avec les formes de la blende naturelle, est un fait fréquemment constaté dans les usines à zinc. On l'observe encore dans les usines métallurgiques où les minerais de zinc, en petite quantité, se rencontrent avec les minerais faisant l'objet principal du traitement.

La blende de ces provenances est généralement d'un brun foncé, feuilletée ou compacte, douée d'un éclat gras très prononcé. Elle diffère surtout de la blende naturelle par sa porosité.

Dans les cavités, elle se montre en cristaux plus ou moins développés, sur lesquels on distingue les faces du cube, de l'octaèdre et du dodécaèdre rhomboïdal.

La blende s'observe aussi parmi les produits cristallisés résultant de la décomposition des sels de zinc ; elle provient généralement, dans ce cas, de la réduction du sulfate de zinc par les matières organiques. C'est ainsi, par exemple, qu'elle a été rencontrée sur les vieux boisages de la mine de Silberzand, près Mayen, en Westphalie.

Sénarmont[1] a reproduit la blende en chauffant, en

1. Sénarmont, *C. r.*, t. XXXII, 1851, p. 409. — *Ann. de ph. et ch.*, XXXII, p. 629.

vase clos à 200°, du sulfure de zinc amorphe dans une dissolution d'hydrogène sulfuré, saturée sous pression.

Durocher[1] a fait passer dans un tube chauffé au rouge un mélange d'acide sulfhydrique et de vapeurs de chlorure de zinc. Les cristaux, qui, dans cette expérience, se déposent dans les parties les moins chaudes du tube, sont d'un gris brunâtre; ils se présentent surtout sous forme de tétraèdres; cependant les formes holoédriques ne font pas complétement défaut.

D'après **M. Sidot**[2], quand on soumet le sulfure de zinc amorphe à une fusion prolongée, on obtient une masse cristalline, mais cette matière doit probablement être rapportée à la wurtzite plutôt qu'à la blende.

Il en est de même de l'agrégat cristallin obtenu par **Dehne**[3] en fondant un mélange de soufre et d'oxyde de zinc, bien que l'auteur de l'expérience assimile ce produit à la blende naturelle.

Dans une série d'expériences encore inédites, **M. Baubigny** a obtenu la blende cristallisée en opérant sur une dissolution acide de sulfate de zinc, saturée à froid d'hydrogène sulfuré. On introduit cette solution dans un ballon hermétiquement clos, qu'on remplit à moitié; on chauffe à 80° pendant quelques jours. L'acide sulfhydrique se dégage en partie dans l'espace libre du ballon et vient presser sur la surface du liquide, qui se couvre de sulfure cristallisé.

M. Baubigny a également obtenu par son procédé un protosulfure de fer, remarquable par son inaltérabilité à l'air et sa résistance aux acides.

Application à la géologie. — La méthode de Sénarmont explique la formation de la blende dans la nature. Celle

1. Durocher, *C. r.*, t. XXXII, 1851, p. 825.
2. Sidot, *C. r.*, t. LXII, 1866, p. 999.
3. Dehne, *Gmelin Handb.*, 5e éd., t. III, p. 18.

de Durocher peut également avoir été mise en œuvre dans certains cas particuliers.

Séléniure et tellurure de zinc. — **M. Margottet**[1] a obtenu ces deux corps en opérant la combinaison du zinc avec les vapeurs de sélénium ou avec le tellure fondu et soumettant le produit ainsi formé à l'action d'un courant d'hydrogène au rouge sombre. C'est un procédé analogue à celui qui a servi à H. Sainte-Claire Deville et Troost pour obtenir la wurzite.

Les cristaux obtenus ont l'apparence hexagonale, terminée par un pointement rhomboédrique. Mais comme ils n'ont aucune action sur la lumière polarisée et que l'angle du pointement est celui du dodécaèdre rhomboïdal régulier, M. Margottet en a conclu que le séléniure et le tellurure de zinc appartiennent au système cubique. Seulement six des faces du dodécaèdre offrent un développement anormal.

WURTZITE (Zn S).

1861. Henri Sainte-Claire Deville et Troost. — **1866.** Sidot.
1881. Hautefeuille.

La wurtzite, ou blende hexagonale, découverte par M. Friedel, est rare dans la nature. En revanche, on la produit artificiellement avec une grande facilité. MM. **Henri Sainte-Claire Deville** et **Troost**[2] l'ont obtenue sous forme de jolies lamelles hexagonales en

1. Margottet, *C. r.*, t. LXXXV, 1877, p. 1142, et thèse 1877.
2. Henri Sainte-Claire Deville et Troost, *C. r.*, t. LII, 1861, p. 920.

chauffant au rouge vif le sulfure de zinc amorphe dans un courant lent d'hydrogène. Le résultat produit peut être considéré comme dû à une décomposition et à une recomposition du sulfure de zinc, l'hydrogène jouant le rôle de minéralisateur.

MM. **Henri Sainte-Claire Deville** et **Troost** ont encore préparé la wurtzite par la méthode des fondants, en opérant sur un mélange de sulfate de zinc, de spath-fluor et de sulfure de baryum. On obtient ainsi de beaux cristaux de sulfure de zinc en prismes dodécagonaux réguliers.

M. **Sidot**[1] a montré que l'oxyde de zinc, chauffé en présence de la vapeur de soufre, donnait naissance à une masse cristalline de sulfure de zinc. Si la température est très élevée, le tube dans lequel a lieu l'expérience se recouvre dans ses parties les moins chaudes de cristaux prismatiques hexagonaux qui ont jusqu'à 3 millimètres de long. Le fait peut s'expliquer soit par une sublimation simple du sulfure formé, soit par dissociation et recomposition du sulfure.

Dans une autre série d'expériences, M. **Sidot**[2] a opéré la transformation du sulfure de zinc amorphe ou de la blende naturelle en wurtzite. L'opération se fait en chauffant ces produits à très haute température dans un tube en porcelaine, avec une atmosphère de vapeur de soufre, d'azote, d'acide sulfureux ou d'acide sulfhydrique. Dans ces trois derniers cas, les cristaux qui se forment sont incolores. Ce sont de longs prismes hexagonaux ou dodécagonaux aplatis, remarquables par leur belle phosphorescence. Leur forme cristalline a été étudiée par M. **Friedel**[3]. En outre des faces m et h^1, M. Friedel a constaté sur un certain nombre d'individus l'existence des

1. Sidot, *C. r.*, t. LXII, 1866, p 909.
2. Sidot, *C. r.*, t. LXIII, 1866, p. 188.
3. Friedel, *C. r.*, t. LXII, p. 1001.

faces b^1 et $b^{1/2}$. Les angles mesurés sont à très peu près identiques à ceux de la greenockite. On a : $m/m = 120°$; $m/p = 90°$; $m/h^1 = 150°$; $p/b^{1/2} = 117°54'$; $b^{1/2}/b^{1/2} = 127°30'$.

Il existe un clivage facile parallèle à h^1, et un difficile parallèle à p. A la lumière convergente entre les nicols croisés, on observe le phénomène de la croix et des anneaux. La double réfraction est faible. Les cristaux sont positifs.

Tout récemment, M. **Hautefeuille**[1] a repris les expériences de M. Sidot, mais en usant d'un artifice pour obtenir un double pointement intact des cristaux de wurtzite obtenus. Il dépose, au fond d'un creuset de porcelaine, le sulfure de zinc amorphe, et le recouvre d'alumine mal tassée. Chauffé avec les précautions convenables, le sulfure subit une apparente sublimation, ou plutôt une dissociation suivie d'une nouvelle combinaison. Les cristaux produits dans l'alumine incohérente, montrent parfois l'antihémiédrie caractéristique de la greenockite : un des pointements est pyramidé, l'autre présente la face basale.

En outre, M. **Hautefeuille**[2] a cherché à rattacher plus intimement, au point de vue optique, la blende dodécaédrique à la wurtzite hexagonale, et il a opéré dans ce but quelques expériences synthétiques remarquables.

Ses recherches ont porté sur la blende zonée, qui est, comme on le sait, une variété dodécaédrique dans laquelle deux séries de bandes alternantes, de couleurs différentes, se montrent traversant entièrement les cristaux, parallèlement à une des faces de l'octaèdre, c'est-à-dire perpendiculairement à un des quatres axes de symétrie ternaire du cube.

M. Hautefeuille a montré que chaque série de bandes

1. Hautefeuille, *C. r.*, 1881, t. XCIII, p. 824.
2. Hautefeuille, *l. c.*, p. 774.

de bicarbonate de soude et de sulfure de potassium, n'a produit qu'un dépôt de matière amorphe.

Le cuivre, chauffé à 200° en vase clos, en présence d'une dissolution d'acide sulfureux, suivant la méthode de **Geitner**, ne fournit aucun résultat satisfaisant. Quand on opère dans les mêmes conditions avec une dissolution de sulfite de cuivre, on obtient des lamelles cristallines dont la composition diffère de celle de la chalcosine.

M. Margottet[1] a obtenu le sulfure de cuivre cristallisé en faisant passer lentement, sur du cuivre chauffé au rouge sombre, un courant d'azote chargé de vapeur de soufre. La forme de cristaux est celle de l'octaèdre régulier transposé d'Haüy. Leur poids spécifique est égal à 5,65.

Application à la géologie. — La chalcosine est un minéral filonien. L'expérience de Durocher et celle de Becquerel peuvent expliquer quelques-uns de ses gisements dans la nature.

STROMEYÉRINE ($Cu^2S + AgS$).

1877. MARGOTTET.

M. Margottet[2] a reproduit ce composé par l'emploi de la méthode qu'il a appliquée à la cristallisation des sulfures et séléniures simples (voir ci-dessus à propos de la chalcosine). Les cristaux sont des octaèdres réguliers normaux ou des octaèdres transposés. Il est à remarquer que la stroméyérine naturelle est orthorhombique. Ce

1. Margottet, *C. r.*, t. LXXXV, 1877, p. 1142.
2. Margottet, *C. r.*, t. LXXXV, 1877, p. 1142.

composé est donc dimorphe ainsi que le sulfure simple Cu^2S.

M. Margottet a reproduit aussi le composé ($Cu^2S+2AgS$) de même forme que le précédent. La jalpaïte ($Cu^2S+3AgS$), produit naturel découvert par Berzélius, cristallise en octaèdres réguliers comme les stroméyérines de M. Margottet.

BLENDE (Zn S).

1851. Sénarmont. — **1851.** Durocher. — **1881.** Baubigny.

La production accidentelle du sulfure de zinc, cristallisé avec les formes de la blende naturelle, est un fait fréquemment constaté dans les usines à zinc. On l'observe encore dans les usines métallurgiques où les minerais de zinc, en petite quantité, se rencontrent avec les minerais faisant l'objet principal du traitement.

La blende de ces provenances est généralement d'un brun foncé, feuilletée ou compacte, douée d'un éclat gras très prononcé. Elle diffère surtout de la blende naturelle par sa porosité.

Dans les cavités, elle se montre en cristaux plus ou moins développés, sur lesquels on distingue les faces du cube, de l'octaèdre et du dodécaèdre rhomboïdal.

La blende s'observe aussi parmi les produits cristallisés résultant de la décomposition des sels de zinc; elle provient généralement, dans ce cas, de la réduction du sulfate de zinc par les matières organiques. C'est ainsi, par exemple, qu'elle a été rencontrée sur les vieux boisages de la mine de Silberzand, près Mayen, en Westphalie.

Sénarmont[1] a reproduit la blende en chauffant, en

1. Sénarmont, *C. r.*, t. XXXII, 1851, p. 409. — *Ann. de ph. et ch.*, XXXII, p. 629.

méthode des fondants, en opérant sur un mélange d'oxyde de cadmium, de sulfure de baryum et de chlorure de calcium. Ces substances, fondues ensemble, donnent, après refroidissement, un culot blanc, au milieu duquel sont disséminés des petits prismes hexagonaux de greenockite.

MM. **Henri Sainte-Claire Deville** et **Troost**[1] ont aussi chauffé au rouge blanc du sulfure de cadmium dans un courant d'hydrogène. Il semble au premier abord, qu'il n'y ait là qu'une simple sublimation du sulfure de cadmium; mais il est bien plus probable qu'il y a décomposition et recomposition successives de ce sulfure, l'hydrogène jouant le rôle de minéralisateur.

La greenockite a été aussi reproduite par voie humide. Le procédé, employé par M. **Geitner**[2], consiste à chauffer en vase clos à 200°, du cadmium dans une dissolution d'acide sulfureux.

M. **Sidot**[3] a produit de beaux cristaux de greenockite en chauffant au rouge blanc de l'oxyde de cadmium dans de la vapeur de soufre. Dans ce cas, il est probable que l'oxyde de cadmium se trouve dissocié à haute température; le sulfure cristallisé résulte alors de la rencontre des vapeurs de soufre et de cadmium dans les parties moins chaudes du tube.

Tout récemment, MM. **Dupont** et **Ferrières**[4] ont répété dans le laboratoire de M. Fremy, l'expérience de MM. Henri Sainte-Claire Deville et Troost; ils ont obtenu de petits prismes hexagonaux d'un brun rougeâtre, transparents, basés avec ou sans les modifications de la pyramide, et présentant parfois l'antihémiédrie signalée dans les cristaux naturels de greenockite.

1. Henri Sainte-Claire Deville et Troost, *ibid.*
2. Geitner, *Ann. Ch. u. Pharm.*, t. CXXIX, p. 350. — *J. f. pr. Ch.*, t. XCIII, p. 97. — *Jahresb.*, 1864, p. 142. — *Ch. cent.*, 1864, p. 632.
3. Sidot, *C. r.*, t. LXII, 1866, p. 999.
4. Dupont et Ferrières, inédit, 1880.

M. **Hautefeuille**[1] a également obtenu des cristaux de greenockite artificielle antihémiédriques, en chauffant le sulfure de cadmium amorphe au fond d'un creuset de porcelaine rempli d'alumine légèrement calcinée. Le creuset de procelaine, protégé par un creuset de plombagine, est chauffé dans des conditions telles que le sulfure amorphe éprouve une volatilisation apparente. Ce procédé n'est autre que celui de M. Sidot et, comme lui, est fondé sur une dissociation de sulfure de cadmium et sur la combinaison des éléments dissociés. L'avantage du procédé de M. Hautefeuille consiste en ce qu'il fournit des cristaux terminés aux deux extrémités; d'un côté on y distingue les pointements $b^{1/2}$ et b^1, et de l'autre une face basale. M. Hautefeuille a mesuré ses cristaux et a constaté l'identité des angles avec ceux de la greenockite naturelle.

Application à la géologie. — La greenockite est un minéral de filons concrétionnés. Toutes les expériences de reproduction, énumérées ci-dessus, excepté celle de M. Geitner, nous paraissent exiger une température trop élevée : la nature ne peut avoir utilisé ces procédés que dans des cas exceptionnels.

Séléniure de cadmium. — M. **Margottet**[2] a obtenu du séléniure de cadmium cristallisé, offrant probablement la même forme que la greenockite. Cette synthèse s'effectue en deux temps. On prépare d'abord une combinaison de sélénium et de cadmium imparfaitement cristallisée, en faisant passer, sur du cadmium chauffé au rouge naissant, un courant d'hydrogène sélénié, dilué dans l'hydrogène pur; puis, on achève la cristallisation

1. Hautefeuille, *C. r.*, t. XCIII, 1881, p. 826.
2. Margottet, *C. r.*, t. LXXXV, 1877, p. 1142, et thèse.

en distillant ce produit dans l'hydrogène pur. Les cristaux, ainsi développés, sont des prismes allongés ou aplatis et striés, s'éteignant parallèlement à leurs arêtes longitudinales; leur poids spécifique est égal à 5,8 et leur composition correspond à la formule Cd Se.

On doit encore à M. Margottet la production du tellurure de cadmium, CdTe, cristallisé. Le procédé employé pour la préparation de ce corps est analogue à celui qui a servi à faire le séléniure du même métal. Les cristaux obtenus ont l'apparence hexagonale, mais ce ne sont en réalité que des dodécaèdres rhomboïdaux, allongés suivant un de leurs axes ternaires. Ils sont sans action sur la lumière polarisée. Leur poids spécifique est égal à 6,20.

MILLÉRITE (Ni S).

1881. Baubigny.

Ce corps n'a été reproduit à l'état de cristaux que dans ces derniers temps. En chauffant en vase clos, à 160°, un mélange de deux dissolutions, l'une de sulfate de nickel, l'autre de protosulfure de potassium, **Sénarmont** [1] a obtenu un précipité noir grenu de nickel sulfuré, et sur les parois du tube, un dépôt jaune, métalloïde du même corps. Ces résultats se produisent encore quand on traite en vase clos, à 180°, un mélange de sulfate de nickel, de polysulfure de potassium et de bicarbonate de soude en excès, en présence de l'eau.

En employant le sulfate de nickel et le polysulfure de potassium sans bicarbonate de soude, on voit se former

1. Sénarmont, *Ann. de ph. et ch.*, 3e série, t. XXXII, p. 129, 1851.

une poudre noire et un enduit jaune d'un sulfure de nickel (Ni^3S^4), qui n'existe pas dans la nature.

Dans une série d'expériences encore inédites, **M. Baubigny** a reproduit divers sulfures cristallisés et notamment la millérite. Son procédé consiste à prendre une dissolution de sulfate de nickel, contenant une petite quantité d'acide sulfurique libre et saturée à froid d'hydrogène sulfuré, et à la chauffer en vase clos à 80°. Le vase dans lequel se fait l'expérience, ne doit être qu'à moitié plein. Quand on chauffe, l'hydrogène sulfuré s'accumule au-dessus de la dissolution et la cristallisation s'opère à la surface du liquide. Le sulfure de nickel, ainsi obtenu, est très difficilement attaquable par les acides.

Sulfures de cobalt. — On a obtenu artificiellement deux sulfures de cobalt cristallisés : **M. Schneider**[1] a produit le sesquisulfure Co^2S^3, sous forme de lamelles hexagonales d'un gris d'acier, difficilement attaquables par l'eau régale, en fondant du carbonate de cobalt, du soufre et de la soude caustique. **M. Hjortdahl**[2] a obtenu le protosulfure CoS en prismes d'un gris d'acier, paraissant isomorphes avec la millérite, par fusion d'un mélange de sulfate de cobalt, de sulfure de baryum et de chlorure de sodium.

ALABANDINE (Mn S).

1881. Ad. Carnot.

Dans une série d'expériences encore inédites, **M. Ad. Carnot** a reproduit l'alabandine en faisant passer un

1. Schneider, *Pogg. Ann.*, t. XXXII, p. 129, 1851.
2. Hjortdahl, *C. r.*, t. LXV, p. 75.

courant d'hydrogène sulfuré, au rouge sombre, sur un sel, un oxyde ou un sulfure précipité. La cristallisation se produit en moins d'un quart d'heure.

GALÈNE (Pb S).

1851. Sénarmont. — **1851**. Durocher. — **1857**. Becquerel. — **18**... Flach. — **1863**. Stolba. — **1863**. De Marigny. — **1863**. Rodwell. — **1865**. Sidot. — **1881**. Ad. Carnot.

La cristallisation accidentelle du sulfure de plomb a été souvent constatée dans les fourneaux des usines, soit que des minerais de plomb constituent l'objet principal du traitement métallurgique, soit que ces minerais ne figurent qu'à l'état d'éléments accessoires à côté d'autres matières métallifères. La fréquence et la beauté des cristaux qui se forment ainsi, s'explique aisément, si l'on tient compte de ce fait, que la galène naturelle est fusible et volatile, et que, rendue fluide par l'un ou l'autre de ces procédés, elle possède une grande tendance à prendre par refroidissement une structure cristalline. Par refroidissement après fusion, elle fournit les cristaux que l'on trouve dans les fentes des fours. Par sublimation, elle forme des dépôts de cristaux à la partie supérieure des voûtes ou dans les cheminées des fourneaux. Généralement elle présente, dans ces conditions, certains caractères physiques qui la distinguent de ceux qu'elle possède dans la nature. Sa couleur est d'un bleu d'acier; ses cristaux sont groupés sans ordre apparent; leurs faces sont creusées en trémies et relativement dépourvues d'éclat. Ces particularités sont assez frappantes pour avoir mérité une dénomination spéciale à cette variété de sulfure

de plomb cristallisé (Ofenbruch). Elle a été observée aussi parmi les produits des houillères embrasées[1].

La galène artificielle se présente presque exclusivement sous forme de cubes, les uns complets, les autres plus ou moins imparfaits. **Von Leonhard**[2] a signalé exceptionnellement des cristaux octaédriques à faces réticulées.

M. Gonnard[3] a signalé, dans un fond de pot de la cristallerie de Lyon, l'existence de petits cubes de galène, associés à de la chalcopyrite.

La voie humide a fourni aussi du sulfure de plomb cristallisé. Ainsi **M. Daubrée**[4] a constaté la reproduction accidentelle de ce corps dans les dépôts de l'eau minérale de Bourbonne-les-Bains.

Sénarmont[5] a appliqué, à la reproduction artificielle de la galène, la méthode dont il s'est servi pour faire cristalliser plusieurs sulfures métalliques. Dans un tube en verre à parois épaisses, il introduisait le sulfure amorphe qu'il voulait transformer en un produit cristallisé, en même temps qu'une dissolution d'hydrogène sulfuré saturée sous une forte pression. Cette dissolution s'obtenait, soit en refoulant de l'acide sulfhydrique gazeux dans l'eau contenue dans l'appareil, soit en y décomposant du bisulfure d'hydrogène après fermeture hermétique. En élevant la température à 150° environ, on rend le sulfure sensiblement soluble dans l'hydrogène sulfuré, et par suite, on favorise sa cristallisation, lorsqu'on ramène ensuite l'appareil à la température ordinaire. Le sulfure de plomb cristallisé qui se forme ainsi est en petits cubes brillants.

Durocher[6] a obtenu des lamelles cubiques de galène,

1. Geiger. *Jahrb. f. Min.*, 1834, p. 638, et Mayençon, *C. r.*, t. LXXXVI, 1878, p. 491.
2. Leonhard, *Hütten-Erzeugn.*, p. 346.
3. Gonnard, *Bull. Soc. min.*, 1879, p. 186.
4. Daubrée, *C. r.*, t. LXXX, 1875, p. 182.
5. Sénarmont, *C. r.*, t. XXXII, p. 409. — *Ann. de ph. et ch.*, t. LIX, p. 105. — *L'Inst.*, 1851, p. 97. — *Ann. Ch. Pharm.*, t. LXXX, p. 212.
6. Durocher, *C. r.*, t. XXXII, 1851, p. 823.

en faisant réagir l'hydrogène sulfuré sur le chlorure de plomb ou le sulfate de plomb au rouge. Les tubes en expérience se recouvrent de petits cristaux cubiques brillants à éclat gris métallique.

Deux procédés distincts ont été employés par **Becquerel**[1]. Dans une première expérience, ce savant chauffait en vase clos, à une température de 100 à 150°, une dissolution et un corps solide susceptibles en réagissant l'un sur l'autre de donner naissance à du sulfure de plomb. Une forte pression était obtenue par l'addition d'une couche d'éther ou de sulfure de carbone. Le sulfure obtenu par cette méthode se présente en lamelles douées d'un vif éclat.

Dans une seconde expérience, Becquerel a introduit, au fond d'un tube de verre, une certaine quantité de sulfure de mercure, et après avoir recouvert ce sulfure d'une dissolution de chlorure de magnésium, il a fait pénétrer une baguette de plomb jusqu'au fond du tube. Au bout de quelques jours, il se forme d'abord du chlorure de plomb; puis on voit, au niveau de la surface du dépôt de sulfure de mercure, la paroi du tube se recouvrir d'un enduit cristallin, composé de tétraèdres de sulfure de plomb.

La méthode de **Flach**[2] consiste à introduire un canon de soufre dans une dissolution alcaline d'oxyde de plomb. Au bout d'un long temps, on voit apparaître des cristaux cubiques de galène artificielle. Cette expérience revient à faire agir un sulfure alcalin sur l'oxyde de plomb.

Plusieurs procédés ont été indiqués, comme permettant d'obtenir, par voie sèche, de beaux cristaux de galène artificielle. **Stolba**[3] a conseillé de chauffer au rouge, dans un

1. Becquerel, *C. r.*, t. XLIV, p. 938. — *L'Inst.*, 1857, p. 159. — *Ch. cent.*, 1857, p. 598.
2. Flach dans le mémoire de Fuchs, p. 42.
3. Stolba, *J. f. pr. Ch.*, t. LXXXIX, p. 122. — *Ch. cent.*, 1863, p. 768. — *Jahresb.*, 1863, p. 242.

creuset de grès, un mélange de galène et de craie. Après refroidissement, on trouve les parois du creuset couvertes d'une belle cristallisation. M. **de Marigny**[1] a proposé de fondre un mélange de litharge, de pyrite de fer et de silice, recouvert d'une couche de borax vitreux. Le sulfure de plomb, qui se forme par décomposition réciproque de la litharge et de la pyrite, cristallise au sein d'un fondant, ce qui facilite sans doute le développement des cristaux.

Rodwell[2] a montré que le sulfure de plomb amorphe, formé par voie de précipitation d'une dissolution aqueuse, se transformait d'abord en un produit compacte et ensuite en petits cubes, lorsqu'après l'avoir desséché, on le chauffait longtemps dans l'hydrogène, dans l'acide carbonique ou dans l'oxyde de carbone. La cristallisation commence à la température de 100°; elle est complète au rouge sombre, avant que le sulfure ait présenté aucune trace de fusion.

M. **Sidot**[3] a obtenu la galène artificielle sous forme de petits cristaux cubiques, doués d'un vif éclat, en faisant passer de la vapeur de soufre sur du silicate de plomb, dans un tube chauffé au rouge.

La méthode, employée par **Geitner** pour obtenir des sulfures cristallisés, n'a fourni qu'un produit amorphe, quand on l'a appliquée à la reproduction de la galène.

Dans une série d'expériences inédites, M. **Ad. Carnot** a obtenu le sulfure de plomb cristallisé, en amenant, au rouge sombre, un courant d'hydrogène sulfuré au contact d'un sel, d'un oxyde ou d'un sulfure précipité de plomb. La cristallisation s'opère très rapidement.

1. De Marigny, *C. r.*, t. LVIII, 1863, p. 967. — *Jahrb. f. Min.*, 1864, p. 967.
2. Rodwell, *Ch. Soc.*, 2e série, t. Ier, p. 42. — *Zeits. f. anal. Ch.*, t. II, p. 370. — *Jahresb.* 1863, p. 243.
3. Sidot, *C. r.*, t. LXII, 1865, p. 999.

Application à la géologie. — La galène est un minéral de filons concrétionnés; les procédés de Sénarmont, de Becquerel et de Rodwell expliquent les gisements ordinaires de ce minéral; quant aux méthodes qui exigent des températures plus élevées, comme celle de Durocher, elles peuvent avoir leur application pour la galène des filons stannifères.

CINABRE (Hg S).

1851. Durocher. — **1876.** Henri Sainte-Claire Deville et Debray

La production artificielle du cinabre par voie sèche est l'objet d'une importante industrie. Elle s'effectue par l'union directe, à chaud, du soufre et du mercure et par une distillation, qui a pour but la purification du sulfure formé. On l'opère de même dans les laboratoires, en agissant sur de faibles quantités de matière. Dans tous ces cas, le cinabre produit se présentent en masses fibreuses ou compactes; il offre rarement des cristaux distincts.

La voie humide est aussi appliquée industriellement à la fabrication du cinabre. Elle consiste à mettre en contact le sulfure de mercure amorphe avec une dissolution d'un polysulfure alcalin. Au lieu d'employer le sulfure amorphe, préparé à l'avance, on se contente le plus souvent de le produire au moment même de l'expérience, à l'aide du mercure ou de dissolutions de sels mercuriels, susceptibles de l'engendrer par leur réaction sur le polysulfure alcalin. Les sels qui donnent le produit doué de la plus belle coloration, sont le sublimé corrosif et le polysulfure d'ammonium. L'opération est d'autant plus rapide que la température est plus élevée et les dissolu-

tions plus concentrées. L'agitation favorise aussi la transformation du sulfure amorphe.

Durocher[1] a obtenu le cinabre en cristaux d'un brun rouge, par sa méthode habituelle, en faisant agir l'hydrogène sulfuré sur le bichlorure de mercure au rouge.

MM. **Henri Sainte-Claire Deville** et **Debray**[2] ont reproduit des cristaux rhomboédriques de cinabre en chauffant en tube scellé, à 100°, en présence de l'acide chlorhydrique, le sulfure de mercure précipité. La cristallisation est attribuée par eux à la solubilité variable du produit, correspondant aux légères oscillations de la température de l'expérience.

Application à la géologie. — Le cinabre est un minéral filonien, qui souvent imprègne, sur de vastes étendues, les roches sédimentaires ou métamorphiques en contact avec les fentes qui l'ont amené des profondeurs. L'expérience de Durocher, et mieux encore, celle de MM. Henri Sainte-Claire Deville et Debray, peuvent expliquer ses principaux gisements naturels.

ARGYROSE (Ag S).

1851. Durocher. — **1857.** Becquerel. — **1859.** Dumas. — **1861** Henri Sainte-Claire Deville et Troost. — **1864.** Geitner. — **1877.** Margottet. — **1881.** Ad. Carnot.

Müller[3] a observé la reproduction artificielle de l'argent sulfuré cristallisé, à la surface des parois d'une

1. Durocher, expérience de 1851, inédite.
2. Henri Sainte-Claire Deville et Debray, 1876, inédit.
3. Müller, *Berg. und Hütt. Zeit.*, 1855, n° 33, p. 271. — *J. f. Min.*, 1856, p. 440.

galerie nouvellement ouverte dans une mine d'argent. Il a attribué ce fait à une décomposition de sulfate d'argent par les vapeurs réductrices provenant d'un tirage à la poudre.

Pour reproduire artificiellement l'argent sulfuré, **Durocher**[1] a fait passer un courant d'hydrogène sulfuré sur du chlorure d'argent, contenu dans un tube de porcelaine chauffé au rouge. Il a obtenu ainsi une matière compacte, élastique, d'apparence métallique, ayant un poids spécifique égal à 7,2 et possédant la composition théorique de l'argent sulfuré. Il est probable que dans cette expérience, la cristallisation du sulfure a été empêchée par l'élévation trop grande de la température employée.

Becquerel[2] a obtenu l'argent sulfuré sous forme de lamelles cristallines, en faisant agir à haute température et sous pression des réactifs susceptibles de le produire (par exemple l'azotate d'argent et un sulfure alcalin) ; la pression est obtenue dans des tubes scellés, chauffés à 100° ou 150°, au moyen d'éther ou de sulfure de carbone.

L'argent sulfuré a été obtenu cristallisé par **M. Dumas**[3] en faisant passer de la vapeur de soufre sur de l'argent chauffé au rouge, et cette expérience a été répétée par **M. Stass**[4].

MM. Henri Sainte-Claire Deville et **Troost**[5] ont produit du sulfure d'argent cristallisé, en faisant passer un courant lent d'hydrogène sulfuré sur de l'argent chauffé au rouge.

Dans ses expériences sur la décomposition de l'acide

1. Durocher, *C. r.*, t. XXXII, 1851, p. 825.
2. Becquerel, *C. r.*, t. XLIV, p. 938. — *L'Inst.*, 1857, p. 159. — *Arch. pharm. nat.*, t. XXIV, p. 207. — *Ch. cent.*, 1857, p. 598. — *Phil. mag.*, t. XIV, p. 76.
3. Dumas, *Ann. de ph. et ch.*, t. LV, 1859, p. 129.
4. Stass, *Bull. Ac. Bruxelles*, t. XXVII, p. 253.
5. Henri Sainte-Claire Deville et Troost, *C. r.*, t. LII, 1861, p. 920.

sulfureux, **Geitner**[1] a montré qu'une dissolution aqueuse d'acide sulfureux, enfermée dans un tube à 200° avec des métaux divers, donnait naissance aux sulfures correspondants. Avec l'argent, il se fait des cristaux d'argent sulfuré reconnaissables au microscope et identiques avec les cristaux naturels.

M. **Margottet**[2] a récemment perfectionné la méthode due à M. Dumas, de manière à obtenir des cristaux mesurables. Il fait passer de la vapeur de soufre entraînée lentement par un courant d'azote, sur de l'argent porté au rouge sombre. Il n'y a pas trace de fusion. Les cristaux qui se forment sont des dodécaèdres rhomboïdaux. Ils se disposent d'abord en fines arborisations et diminuent ensuite en nombre, en même temps que leur volume augmente, lorsqu'on prolonge l'opération.

Dans une série d'expériences inédites, M. **Ad. Carnot** a obtenu l'argyrose en faisant passer, au rouge sombre, un courant d'hydrogène sulfuré sur un sel, un oxyde ou un sulfure précipité d'argent; la cristallisation s'opère en quelques minutes. Ce procédé rappelle l'expérience de MM. Henri Sainte-Claire Deville et Troost.

Application à la géologie. — L'argyrose est un minéral de filon concrétionné. Les méthodes de Durocher et de M. Margottet, citées ci-dessus comme ayant conduit à sa reproduction artificielle, peuvent aussi avoir été mises en œuvre par la nature.

1. Geitner, *Ann. Ch. Pharm.*, t. CXXIX, p. 350. — *J. f. pr. Ch.*, t. XCIII, p. 97. — *Jahresb.*, 1864, p. 142. — *Ch. cent.*, 1864, p. 632.
2. Margottet, *C. r.*, t. LXXXV, 1877, p. 1142.

PYRITE MAGNÉTIQUE ($Fe^7 S^8$).

Hausmann a signalé la découverte de pyrite magnétique accidentellement reproduite, dans les résidus de l'usine de Lautenthal dans le Harz. Les cristaux observés étaient des prismes hexagonaux minces, associés à des cristaux d'oxyde de plomb. Leur couleur, leur cassure, leurs propriétés magnétiques, leur composition, étaient celles de la pyrite magnétique naturelle.

On obtient aisément une matière cristalline, ayant la composition de ce minéral, quand on fond au rouge un mélange convenable de fer et de soufre.

Le produit pulvérulent qui se forme, lorsque l'on chauffe la pyrite dans un creuset fermé ou dans un gaz inerte, possède aussi la composition de la pyrite magnétique, mais n'est pas visiblement cristallin.

ORPIMENT ($As S^3$).

On obtient une matière cristalline, ayant la composition de l'orpiment, quand on fond un mélange en proportions convenables de soufre et d'arsenic, et surtout quand on soumet le produit formé à la sublimation.

Ce corps a été recueilli à l'état de cristaux distincts par **Von Leonhard**, dans les produits du traitement des minerais d'argent, à Andreasberg dans le Harz. Il a été signalé aussi parmi les produits sublimés dans les émanations du Vésuve, dans ceux de la solfatare de Pouzzoles et du cratère de Vulcano.

STIBINE ($Sb\,S^3$).

1848. Geitner. — **1851.** Sénarmont. — **1851.** Durocher. — **1881.** Ad. Carnot.

Ce corps s'obtient aisément à l'état cristallin, quand on fond un mélange en proportions convenables de soufre et d'antimoine. **Von Leonhard**[1] l'a observé en longs cristaux prismatiques, orthorhombiques, formés accidentellement dans les fourneaux du Harz, où l'on traite les minerais de plomb argentifère. L'angle des faces du prisme, dans ces cristaux artificiels, est le même que dans les échantillons naturels. On y constate également les faces de la pyramide.

D'après **Geitner**[2], on obtient encore des cristaux allongés de stibine, quand on chauffe à 200°, en vase clos, de l'antimoine dans une dissolution d'acide sulfureux. En chauffant de même dans l'eau un mélange de soufre et d'antimoine pulvérisé, on produit une matière cristalline ayant la composition et les propriétés physiques de la stibine.

On peut aussi, par voie humide, réaliser la cristallisation du sulfure d'antimoine. **Sénarmont**[3] a montré que ce composé, pris à l'état amorphe, devenait cristallin quand on le chauffait en vase clos à 300°, en présence de l'eau pure, et qu'il se transformait à 250° en prismes microscopiques, doués de toutes les propriétés de la stibine naturelle, quand on opérait en présence d'une dissolution

1. Von Leonhard, *Hütten-erzeugnisse*, p. 340.
2. Geitner, *J. Pharm.*, t. XVI, p. 11. — *Pharm. cent.*, 1848, p. 71. — *Jahresb.*, 1848, p. 276.
3. Sénarmont, *C. r.*, t. XXXII, 1851, p. 409. — *Ann. de ph. et ch.*, t. XXXII, p. 129.

de bicarbonate de soude. Ces cristaux sont rayés sur les faces du prisme et modifiés par les faces de la pyramide b^1.

Durocher[1] a obtenu de très beaux cristaux de stibine, identiques aux cristaux naturels, en amenant, dans un tube chauffé au rouge, un courant d'acide sulfhydrique en même temps que des vapeurs de chlorure d'antimoine, ou encore en faisant passer de l'hydrogène sulfuré sur de l'oxyde d'antimoine chauffé au rouge.

Dans une série d'expériences encore inédites, **M. Ad. Carnot** a obtenu la stibine cristallisée, en faisant passer au rouge sombre un courant d'hydrogène sulfuré sur un sel, un oxyde ou un sulfure précipité d'antimoine; la cristallisation a lieu très rapidement. Cette expérience rappelle celle de Durocher.

Application à la géologie. — La stibine se trouve dans la nature en filons, associés au quartz, au fer carbonaté, à la blende.

Le procédé de Sénarmont semble se rapprocher de celui qu'a employé la nature. Il est possible que dans certains cas, celui de Durocher trouve des applications naturelles.

BISMUTHINE ($Bi\,S^3$).

1851. Sénarmont. — **1851.** Durocher. — **1851.** Schneider. — **1881.** Ad. Carnot.

La méthode de **Sénarmont**[2] permet d'obtenir aisément la reproduction artificielle de la bismuthine. On opère à

1. Durocher. t. XXXII, 1851, p. 823.
2. Sénarmont. *C. r.*, t. XXXII, 1851, p. 409. — *Ann. de ph. et ch.*, t. XXXII. 1851, p. 129.

200° en employant le sulfure de bismuth amorphe et une dissolution de bicarbonate de soude. Il se forme un lacis de petits cristaux aciculaires, doués d'un vif éclat métallique, dont la composition a été contrôlée par l'analyse. Les faces déterminées sont : p, m, h^1 et b^1. Les cristanx sont striés sur les faces du prisme.

Durocher[1] a obtenu un dépôt de cristaux de bismuthine en faisant arriver, dans un tube chauffé au rouge, un courant d'acide sulfhydrique en même temps que des vapeurs de chlorure de bismuth.

Schneider[2] a fait cristalliser ce sulfure, en fondant un mélange en proportions convenables de soufre et de bismuth. L'opération fournit une masse cristalline, creusée de cavités drusiques.

Dans une série d'expériences encore inédites, **M. Ad. Carnot** a obtenu la bismuthine cristallisée en faisant passer un courant d'hydrogène sulfuré au rouge sombre sur un sel, un oxyde ou un sulfure précipité de bismuth. La cristallisation s'opère en moins d'un quart d'heure.

Application à la géologie. — La bismuthine est un minéral de filon concrétionné. La méthode de Sénarmont explique la plupart de ses gisements naturels; cependant il peut aussi, dans certains cas, s'être formé suivant le procédé de Durocher.

1. Durocher, *C. r.*, t. XXXII, 1851, p. 823.
2. Schneider, *Pogg. Ann.*, t. XCI, 1851, p. 404. — *Jahrb. f. pr. Ch.*, t. LXII, p. 87.

RÉALGAR ($As S^2$).

1851. Sénarmont.

Ce corps se présente fréquemment à l'état de cristaux ou de lamelles cristallines, dans les usines où l'on soumet au grillage des minerais à la fois sulfurés et arséniés. Il s'observe encore dans les dépôts sublimés qui se forment autour des lignites ou des houilles embrasés. Le réalgar, produit de la sorte, par voie de sublimation, repose souvent sur une couche de cristaux d'acide arsénieux, engendrés dans les mêmes conditions. C'est un mode de formation identique à celui qui se manifeste dans les soufrières, comme **M. Scacchi** l'a constaté, par exemple, à la soufrière de Pouzzoles.

Quand on fond le réalgar naturel, ou bien encore, un mélange de soufre et d'arsenic, dans les proportions constitutives de ce corps, on obtient toujours une masse cristalline et quelquefois même des cristaux distincts.

Le réalgar a été obtenu en beaux cristaux par **Sénarmont**[1], au moyen de la méthode habituellement mise en œuvre par ce savant. Dans un tube scellé à la lampe, on chauffe à 150° une dissolution de bicarbonate de soude, contenant en suspension du sulfure d'arsenic amorphe ($As S^2$), ou de l'orpiment ($As S^3$). Quand on emploie le réalgar naturel pulvérisé, on constate qu'il se dissout complètement à 150° et cristallise par refroidissement du liquide. Les cristaux qui se forment sont transparents. Ils sont monocliniques, comme les cristaux naturels, dont ils possèdent aussi la couleur et l'éclat. Les faces les plus

1. Sénarmont, *C. r.*, t. XXXII, 1851, p 409.

développées sont p, m et g^1. Sénarmont a observé en outre des facettes g^x et h^x. La composition de ces cristaux a été contrôlée par l'analyse.

Application à la géologie. — Le réalgar se présente comme un minéral secondaire des filons concrétionnés. Les expériences de Sénarmont trouvent ici leur application naturelle.

HAUERITE ($Mn S^2$).

Sénarmont[1] a essayé de reproduire artificiellement ce composé, en chauffant à 160°, en vase clos, deux dissolutions mélangées, l'une de sulfate de manganèse, l'autre de polysulfure de potassium. Il a obtenu ainsi une poudre rouge-brique amorphe, et un enduit rouge, transparent, adhérent à la paroi du tube, mais non cristallisé.

PYRITE ($Fe S^2$).

1836. Wöhler. — **1851.** Sénarmont. — **1851.** Durocher. — **1862.** Rammelsberg. — **1864.** Geitner.

Quand des matières organiques se trouvent en contact prolongé avec du sulfate de fer en dissolution, ce sel est réduit et il se fait un dépôt de pyrite, soit en petits cristaux, soit plus communément sous la forme d'un enduit à éclat métallique jaune. Des phénomènes de ce genre

1. Sénarmont, *Ann. de ph. et ch.*, t. XXXII, 1851, p. 129.

ont été signalés partout où des eaux minérales chargées de sulfate de fer sont conduites dans des tuyaux en bois ou séjournent en présence de matières organiques. Cette cause a produit certainement les échantillons de pyrite, recueillis à Bourbonne-les-Bains par **M. Daubrée**[1], dans les sondages effectués sur le point d'émergence de la source, ou dans la chaux qui enveloppait les briques d'un carrelage, sous le canal de conduite de l'eau. Citons encore les pisolithes de pyrite à centre calcaire, trouvés dans les eaux minérales d'Hamman-Meskoutine; la pyrite en lamelles brillantes extraite de l'intérieur d'une pièce de bois du yacht royal « Osborne »; les incrustations pyriteuses observées dans un sol tourbeux, chargé de sulfate de soude et de carbonate de fer, aux environs de la source minérale de Röndorf.

La pyrite, accidentellement reproduite, a été signalée encore par **Bischof**[2] dans le tuf de Burgbrohl, par **M. François** sur un échantillon pierreux provenant de Bourbon-Lancy, par **M. De Gouvenain**[3] sur des matériaux provenant des alentours de la source thermale de Bourbon-l'Archambault, par **Lecoq**[4] dans les incrustations produites par la source de Saint-Nectaire.

Ulrich[5] a observé la reproduction accidentelle de la pyrite cristallisée dans les parois d'un four de grillage de l'usine d'Ocker (Harz). Dans ce cas, il y a lieu d'admettre une réaction entre agents volatils à haute température.

La production de la pyrite a été constatée par **Bunsen** dans une localité de l'Islande, où un dégagement lent d'hydrogène sulfuré avait lieu à une température voisine de 100 degrés, au milieu de roches volcaniques riches en fer.

1. Daubrée, *C. r.*, t. LXXX, 1875, p. 604.
2. Bischof, *Lehrb. d. ch. Geo.*, t. I, p. 557.
3. De Gouvenain, *C. r.*, t. LXXX, 1875, p. 1267.
4. Lecoq, *Eaux minérales*, p. 276.
5. Ulrich, *Hütten-erzeugnisse*, *dans Hausmann*, p. 359.

Différentes méthodes ont permis d'obtenir artificiellement la pyrite cristallisée.

Wöhler[1] a produit de beaux cristaux de pyrite (cubes et octaèdres) en chauffant un mélange d'oxyde de fer, de soufre et de sel ammoniac à une température peu supérieure à celle de la volatilisation de ce dernier sel. Il reste un dépôt pulvérulent, dont on sépare par lévigation les cristaux formés dans l'opération.

La formation artificielle de la pyrite a été réalisée par **Sénarmont**[2] en chauffant en vase clos, à une température de 150°, en présence de l'eau, des éléments chimiques susceptibles d'engendrer ce minéral. Dans une première expérience, le savant chimiste a opéré sur un mélange de deux dissolutions, l'une de sulfate de fer, l'autre de polysulfure de potassium, et obtenu un enduit jaune d'aspect métallique. Dans une seconde expérience, il a chauffé du sulfure de fer préparé par voie de précipitation, dans une dissolution d'hydrogène sulfuré effectuée sous pression, et obtenu un dépôt cristallin.

Durocher[3] a obtenu la pyrite en faisant passer simultanément des vapeurs de chlorure de fer et un courant lent d'hydrogène sulfuré, dans un tube de porcelaine chauffé au rouge. Les cristaux, qui se forment ainsi, sont des petits cubes ayant la couleur, l'éclat et les autres propriétés physiques de la pyrite naturelle.

D'après **Rammelsberg**[4], quand on fond un mélange en proportions convenables de soufre et de fer, on obtient une matière qui possède les propriétés physiques de la pyrite, mais qui cependant ne paraît pas être cristalline.

1. Wöhler, *Pogg. Ann.*, t. XXXVII, p. 238. — *Ann. de ph. et ch.*, t. XVII, 1836, p. 260.
2. Sénarmont, *C. r.*, t. XXXII, 1851, p. 409.
3. Durocher, *C. r.*, t. XXXII, 1851, 825.
4. Rammelsberg, *Berl. Ac. Ber.*, 1862, p. 350.— *J. f. pr. Ch.*, t. LXXXVIII, p. 266. — *Ch. cent.*, 1863, p. 211.

Le même savant a réalisé des pseudomorphoses de fer oxydulé et de fer oligiste en pyrite, en soumettant ces minéraux à l'action d'un courant d'hydrogène sulfuré, à des températures comprises entre 100° et le rouge sombre.

La méthode de **Geitner**[1] fournit aussi de la pyrite cristallisée. Elle consiste, dans ce cas, à chauffer en vase clos, à 200°, une dissolution d'acide sulfureux dans laquelle plonge une lame de fer ou un composé ferrugineux (oxyde, silicate naturel, etc.). Il se forme ainsi une croûte cristalline semblable à celle qui prend naissance par l'application du procédé de Sénarmont.

Application à la géologie. — La pyrite est surtout un minéral de filons concrétionnés. Sa formation peut y être expliquée par les expériences de Sénarmont et de Durocher.

LAURITE (RuS^2).

1879. Henri Sainte-Claire Deville et Debray.

La laurite est un sulfure de ruthénium que Wöhler a trouvé dans les sables platinifères.

MM. **Henri Sainte-Claire Deville** et **Debray**[2] l'ont obtenue cristallisée en chauffant, au rouge vif, un mélange de 1 partie de ruthénium, 10 de sulfure de fer et 1 de borax; la laurite, séparée du sulfure de fer en excès par un traitement à l'acide chlorhydrique, se présente en octaèdres

1. Geitner, *Ann. Ch. Pharm.*, t. CXXIX, p. 350. — *J. f. pr. Ch.*, t. XCIII, p. 97, 1864
2. Henri Sainte-Claire Deville et Debray, *Bull. Soc. min.*, 1879, p. 185.

réguliers ou en cubes. Sa composition et ses propriétés physiques sont celles de la laurite naturelle.

MISPICKEL ($FeS^2 + FeAs$).

1851. Sénarmont.

Ce corps a été reproduit artificiellement par **Sénarmont**[1] en chauffant en vase clos, à la température de 300°, un mélange de sulfure de fer, de sulfo-arsénite de soude et de bicarbonate de soude en dissolution dans l'eau; ou bien encore, en opérant dans les mêmes conditions, avec du sulfo-arsénite de fer, obtenu par précipitation, que l'on chauffe dans une dissolution de bicarbonate de soude. Il se forme une poudre grenue, inattaquable à l'acide chlorhydrique, dans laquelle on distingue à la loupe des cristaux offrant l'éclat, la couleur et la forme du mispickel naturel. On y reconnaît les faces m, a^1, e^1.

Application à la géologie. — Le mispickel est un minéral de filons concrétionnés; il existe également dans les pegmatites stannifères. Le procédé de Sénarmont peut avoir été fréquemment utilisé par la nature, mais la méthode de Durocher, qui n'a pas été mise en œuvre par ce savant pour le mispickel, eût certainement réussi et trouverait son application dans les gisements stannifères.

1. Sénarmont, *C. r.*, t. XXXII, 1851, p. 409. — *Ann. de ph. et ch.*, t. XXXII, 3e série, 1851, p. 129.

CHALCOPYRITE ($Cu^2S + Fe^2S^3$).

1851. Sénarmont.

La chalcopyrite, accidentellement reproduite, a été plusieurs fois observée dans les parois des fourneaux à cuivre, ou encore dans les matières cuivreuses ayant subi un grillage incomplet. **Hausmann**[1] l'a signalée, par exemple, dans des mattes cuivreuses à Goslar et à Ocker. **Plattner**[2] l'a observée dans les fentes d'un four à réverbère, à Mulden près Freiberg.

Les cristaux, étudiés par Hausmann, étaient oxydés à leur surface, longs de plus de cinq millimètres et maclés. Des stries visibles sur les faces montraient la tendance à l'hémiédrie.

On doit à M. **Daubrée**[3] des observations remarquables sur la reproduction accidentelle de la chalcopyrite par voie humide. Ce minéral s'est formé, notamment à Bourbonne-les-Bains, sous l'influence prolongée d'eaux sulfurées, agissant sur des objets de cuivre ou de bronze enfouis dans le sol.

Sénarmont[4] a reproduit la chalcopyrite, sous forme de précipité noir et aussi d'enduit d'apparence métallique, en chauffant à 250°, en vase clos, un mélange de dissolutions de chlorure de fer, de chlorure de cuivre, de polysulfure de sodium et de bicarbonate de soude.

1 Hausmann, *Gött. gel. Nachr.*, 1852, p. 177. — *L'Inst.*, 1853, p. 17.
2. Plattner, Mémoire de Fuchs, p. 62.
3. Daubrée, *C. r.*, t. LXXX, p. 461.
4. Sénarmont, *C. r.*, t. XXXII, 409. — *Ann. de ph. et ch.*, t. XXXII, 1851, p. 129.

ZINKÉNITE ($PbS + SbS^3$).

1834. Fournet.

La zinkénite a été reproduite artificiellement par **Fournet**[1], en fondant un mélange, en proportions convenables, de sulfure de plomb et de sulfure d'antimoine. On obtient ainsi une matière cristalline, feuilletée, de couleur grise, dont les propriétés physiques sont celles du minéral naturel.

CUIVRE PANACHÉ ($3Cu^2S + Fe^2S^3$).

1855. Böcking. — **1864.** F. de Marigny.

Pour reproduire artificiellement le cuivre panaché, **Böcking**[2] a fondu un mélange de cuivre, de fer réduit et de soufre en excès, sous une couche de sel marin. Il a obtenu ainsi, après refroidissement, une matière cassante, à cassure cristalline, prenant rapidement des teintes irisées en présence de l'air humide et possédant la composition du cuivre panaché.

M. F. de Marigny[3] a réalisé la même reproduction artificielle en employant un mélange de tournure de cuivre, de soufre et de pyrite de fer, le tout recouvert d'une

1. Fournet, *J. f. pr. Ch.*, t. II, 1834, p. 490.
2. Böcking, *Hütten-erzeugnisse*, p. 365.
3. F. de Marigny, *C. r.*, t. LVIII, 1864, p. 967. — *N. J. f. Min.*, 1864, p. 830.

couche de borax. Il a obtenu ainsi, après chauffage au rouge et refroidissement, un agrégat de cristaux ayant la forme, la couleur, le poids spécifique et la composition du cuivre panaché naturel.

EMPLECTITE ($3Cu^2S + BiS^3$).

1867. Schneider.

Schneider [1] a montré que le bismuth métallique, réduit en poudre et agité au contact d'une dissolution bouillante de chlorure de cuivre, donnait naissance à un chlorure double, dont la composition est représentée par la formule $3Cu^2Cl, BiCl^3$. Puis, il a produit une poudre noire insoluble ayant pour composition $3Cu^2S, BiS^3$, en précipitant une dissolution du chlorure précédent par un courant d'hydrogène sulfuré. Le dépôt ainsi obtenu peut être fondu, et, après refroidissement, il se transforme en une matière grenue dont la cassure, l'éclat métallique et le poids spécifique, égal à 5,9, sont ceux du minéral naturel.

PROUSTITE ($3AgS + AsS^3$).

1851. Sénarmont. — **1851.** Durocher. — **1877.** Margottet.

Sénarmont [2] a obtenu ce composé cristallisé en chauffant, en vase clos à 300°, un mélange de sulfo-arsénite

1. Schneider, *Pogg. Ann.*, t. CXXVII, 1866, p. 316.
2. Sénarmont, *C. r.*, t. XXXII, 1851, p. 409. — *Ann. de ph. et ch.*, t. XXXII, 1851, p. 129.

d'argent et de bicarbonate de soude, en présence d'un excès d'eau. Le produit, qui se forme, se présente sous l'aspect d'une poudre cristalline rougeâtre, à grains très brillants; elle se compose de cristaux rouges, éclatants, dont les faces sont partiellement striées. Ces cristaux sont des scalénoèdres d^2, dont les faces sont striées en zigzag, parallèlement aux arêtes transversales. La composition de ces cristaux a été contrôlée par l'analyse.

Ce corps a été reproduit artificiellement par **Durocher**[1] en faisant passer du chlorure d'arsenic en vapeur et un courant d'hydrogène sulfuré sur du chlorure d'argent chauffé au rouge dans un tube de porcelaine.

M. **Margottet**[2] a obtenu la proustite cristallisée en chauffant à 440°, dans un tube vide d'air, scellé à la lampe, un mélange de sulfure d'argent et de sulfure d'arsenic en excès. Pour obtenir de beaux cristaux, il faut avoir préalablement fondu le sulfure d'arsenic dans du soufre. L'opération terminée, on chasse le sulfure d'arsenic et le soufre en excès par distillation. Il reste un culot d'argent rouge présentant des géodes, tapissées de cristaux rouge rubis, transparents et mesurables. On peut aussi employer le soufre comme dissolvant unique, par un procédé analogue à celui qui est décrit à propos de l'argyrythrose.

Application à la géologie. — La proustite est un minéral de filons concrétionnés. Sa production peut y être expliquée par les expériences de Sénarmont et de Durocher.

1. Durocher, *C. r.*, t. XXXII, 1851, p. 825.
2. Margottet, *C. r.*, t. LXXXV, 1877, p. 1142, et thèse, 1877

ARGYRYTHROSE ($3AgS + SbS^3$).

1833. Fournet. — **1851.** Sénarmont. — **1851.** Durocher. — **1877.** Margottet.

Fournet[1] a produit une poudre cristalline rouge, ayant la composition de ce minéral, en fondant un mélange de sulfure d'antimoine et de sulfure d'argent.

Sénarmont[2] a réalisé la reproduction artificielle de l'argent rouge antimonié, cristallisé par voie humide, en chauffant en vase clos, à 300° environ, du sulfo-antimonite ou du sulfo-antimoniate d'argent dans une dissolution en excès de bicarbonate de soude. Il se fait un dépôt pulvérulent et floconneux, composé de soufre, de sulfure d'antimoine, d'une substance amorphe complexe et de beaux cristaux rouges d'argyrythrose. Ces cristaux sont constitués par le rhomboèdre primitif, simple ou tronqué par les faces b^1, ou bien encore, ils représentent le scalénaèdre d^2, tronqué par les faces b^1.

Durocher[3] a obtenu ce même corps en cristaux microscopiques, en faisant passer, sur du chlorure d'argent chauffé au rouge dans un tube de porcelaine, un courant d'hydrogène sulfuré et des vapeurs de chlorure d'arsenic. Il a également utilisé l'action de l'hydrogène sulfuré, au rouge, sur un mélange d'argent métallique et d'oxyde d'antimoine fondu; ou encore sur un mélange d'oxyde d'antimoine et de chlorure d'argent.

M. Margottet[4] a obtenu l'argyrythrose en fondant, dans

1. Fournet, *Ann. des mines*, t. IV, 1833, p. 3.
2. Sénarmont, *C. r.*, t. XXXII, 1851, p. 409. — *Ann. de ph. et ch.*, t. XXXII, 1851, p. 129.
3. Durocher, *C. r.*, t. XXXII, 1851, p. 825.
4. Margottet, *C. r.*, t. LXXXV, 1877, p. 1142, et thèse 1877.

un creuset de porcelaine, un mélange d'argent et d'antimoine, avec un excès de soufre. On chasse la majeure partie du soufre par volatilisation; puis la masse pulvérisée est introduite dans un tube de verre, que l'on scelle à la lampe, après y avoir fait le vide. On chauffe pendant trois ou quatre jours à la température de l'ébullition du soufre, en laissant l'appareil se refroidir chaque nuit; l'opération terminée, on distille le soufre en excès et on obtient un culot d'argent rouge, recouvert de cristaux transparents d'un beau rouge rubis; ce sont des prismes hexagonaux.

On peut aussi employer le sulfure d'antimoine comme dissolvant par un procédé analogue à celui qui est décrit à propos de la proustite.

Application à la géologie. — L'argyrythrose est un minéral de filon concrétionné. L'expérience de Sénarmont explique son gisement naturel ordinaire. Le procédé de Durocher peut aussi, dans certains cas exceptionnels, avoir été mis en œuvre par la nature.

PANABASE ($4Rs + SbS^3$).

1851. Durocher.

M. Daubrée[1] a constaté la reproduction accidentelle de cristaux d'une panabase antimoniale sur des objets de bronze, trouvés dans les substructions des thermes de Plombières. Ces cristaux ont la forme de tétraèdres réguliers, bordés d'un biseau hémiédrique a^2. La couleur et

1. Daubrée, *Géol. expérim.*, p. 79.

l'éclat sont ceux de la tennantite du Cornouailles. Ils ne contiennent que des traces d'arsenic.

Malgré la composition complexe de la panabase, ce minéral a pu être reproduit avec ses caractères physiques normaux. **Durocher**[1], auquel on doit ce résultat, l'a obtenu en faisant passer, dans un tube chauffé au rouge, des vapeurs mélangées de divers chlorures métalliques (cuivre, argent, fer, zinc, mercure), de chlorures d'antimoine et d'arsenic, et d'hydrogène sulfuré. En variant la nature et la proportion des vapeurs mises en œuvre, il a imité les diverses variétés de panabase naturelle. Par l'emploi prédominant du chlorure d'arsenic, il a reproduit la panabase arsenicale de couleur claire; et inversement, par l'emploi prédominant du chlorure d'antimoine il a reproduit la panabase antimoniale de couleur foncée. Cette dernière était en tétraèdres susceptibles de mesures goniométriques, clivables suivant les faces de l'octaèdre et doués d'un poids spécifique d'environ 4,8.

Application à la géologie. — La panabase est un minéral de filons concrétionnés. L'expérience de Durocher peut rendre compte, dans certains cas, de sa production naturelle.

VOLTZINE $\left(Zn^5 \left\{ \begin{matrix} O \\ S^4 \end{matrix} \right.\right)$.

Kersten[2] a trouvé, parmi les matériaux provenant de la démolition d'un four, à Laposbanya près Kapnik, de beaux cristaux ayant la composition de l'oxysulfure de zinc naturel, connu sous le nom de voltzine.

1. Durocher, *C. r.*, t. XXXII, 1851, p. 823.
2. Kersten, *Pogg. Ann.*, 1845, t. LXIV, p. 494.

XVII. (β). SULFATES

GLASÉRITE (KO, SO^3).

Ce sel cristallise par évaporation de sa dissolution.

On l'obtient encore, après fusion au rouge et refroidissement, sous forme d'une masse cristalline. Les propriétés du produit artificiel sont identiques à celles de la glasérite naturelle, qui est orthorhombique comme la thénardite.

THÉNARDITE (NaO, SO^3).

Le sulfate de soude hydraté ($NaO,SO^3 + 10HO$) est efflorescent. Quand on l'abandonne à l'air libre, il perd son eau et se transforme en une poudre blanche, composée de cristaux anhydres microscopiques, pseudomorphiques.

Lorsqu'on les dissout dans l'eau et qu'on évapore la dissolution à une température supérieure à 33°, c'est encore du sulfate anhydre qui cristallise.

Le sulfate de soude hydraté fond dans son eau de cristallisation. Si l'on cesse de chauffer avant que toute l'eau du sel ait disparu, il se précipite bientôt une poudre cristalline de thénardite. Si on pousse l'opération jusqu'à fusion à sec, au rouge vif, il se forme par refroidissement une masse cristalline feuilletée du même sel anhydre.

Il y a identité de forme cristalline entre le sulfate de soude anhydre artificiel et la thénardite naturelle, qui est orthorhombique.

GLAUBÉRITE ($NaO + CaO)^1 SO^3$.

On obtient aisément ce sel, en cristaux identiques à ceux de l'espèce naturelle, quand on chauffe, en présence de l'eau à 100°, un mélange de sulfate de soude et de sulfate de chaux récemment précipité.

ANHYDRITE (CaO, SO^3).

1825. Mitscherlich. — **1852.** Manross. — **1852.** Hoppe Seyler. **1869.** Struve.

Quand on fond du sulfate de chaux à la température du rouge vif, on obtient après refroidissement une masse blanche, cristalline, ayant la composition de l'anhydrite; et même, on peut, en opérant avec précaution, comme l'a fait **Mitscherlich**[1], produire ainsi un agrégat de cristaux distincts.

En fondant, dans un creuset hermétiquement clos, un mélange de sulfate de potasse et de chlorure de calcium, **Manross**[2] a recueilli, après refroidissement et lavage, des prismes orthorhombiques d'anhydrite, possédant les clivages et le poids spécifique 2,969 du minéral naturel.

1. Mitscherlich, *Pogg. Ann.*, t. XI, 1825, p. 321.
2. Manross, *Ann. Ch. Pharm.*, t. LXXXII, 1852, p. 348. — *J. f. pr. Ch.*, t. LVIII, p. 55.

Il est arrivé à ce même résultat en fondant et lessivant ensuite un mélange de borax, de chlorure de calcium et de sulfate de magnésie.

D'après **Hoppe-Seyler**[1] le gypse chauffé en présence de l'eau, en vase clos, à 140°, se transforme en une matière fibreuse, ayant pour formule $CaO,SO^3 + 1/2HO$; dans ces conditions la déshydratation du gypse est donc incomplète. Le même expérimentateur a montré qu'on obtient de l'anhydrite quand, au lieu d'eau pure, on opère avec une dissolution saturée de chlorure de sodium ou de chlorure de calcium.

Il est à remarquer toutefois que l'anhydrite, ainsi préparée, se change en gypse quand on la laisse séjourner à froid au sein de la dissolution chlorurée où elle a pris naissance.

D'après **Struve**[2], on obtient l'anhydrite cristallisée en évaporant une solution de sulfate de chaux dans l'acide sulfurique monohydraté; ces cristaux ont une densité de 3,028.

Application à la géologie. — L'anhydrite se trouve fréquemment dans la nature en couches associées au sel gemme, ou intercalées entre des bancs calcaires.

Parmi les essais synthétiques énumérés plus haut, un des procédés employés par Hope-Seyler peut rendre compte de l'association de l'anhydrite avec le chlorure de sodium.

1. Hoppe-Seyler, *Ann. Ch. Pharm.*, t. LXXXII, p. 348. — *J. f. pr. Ch.* t. LVIII, 1852, p. 55.
2. Struve, *Zeitsch. Chem.*, 1869, p. 324.

BARYTINE (BaO, SO^3).

1851. Sénarmont. — **1851**. Durocher. — 1852. Manross. — 1853. Macé. — **1866**. Fremy. — **1874**. Becquerel. — **1881**. Beurens.

Le sulfate de baryte, préparé par voie de précipitation, se présente sous la forme d'une poudre blanche d'apparence amorphe. Sa faible solubilité fait qu'on l'obtient difficilement à l'état de cristaux nettement visibles.

Dans les dépôts d'eaux minérales on le rencontre quelquefois accidentellement cristallisé.

Sénarmont[1], se basant sur ce que le sulfate de baryte, récemment précipité, est légèrement soluble dans une solution de bicarbonate de soude ou dans l'acide chlorhydrique, a réussi à faire cristalliser ce sel, en le chauffant en vase clos à 250°, pendant soixante heures, au sein de l'un de ces deux liquides.

Les cristaux, qui se forment, se montrent implantés sur les parois du tube servant à l'expérience. Leur forme est celle du prisme orthorhombique de 101°40′, dépourvu de modifications, quand l'opération est faite dans le bicarbonate de soude, et offrant au contraire quelques facettes secondaires h^1, e^1, a^1, quand elle s'effectue dans l'acide chlorhydrique étendu. L'extinction sur la face p, entre les nicols croisés, se fait parallèlement aux diagonales du rhombe.

Durocher[2] a reproduit la barytine en traitant, à chaud, en tube scellé, le chlorure de baryum par le sulfate d'ammoniaque, en présence de l'eau. Son produit est en petites tables rhombiques, incolores, transparentes.

1. Sénarmont, *Ann. de ph. et ch.*, t. XXXII, p. 129. — *Ann. Ch. Pharm.* t. LXXXI, p. 212. — *Jahresber.*, 1851, p. 338.
2. Durocher, 1851, expériences inédites.

Manross[1] a obtenu le sulfate de baryte cristallisé en fondant un mélange de sulfate de potasse et de chlorure de baryum. Après lessivage du culot on recueille une poudre cristalline composée de petits cristaux de baryte sulfatée, identiques, par leur forme et leur composition, à la barytine naturelle. Leur poids spécifique est égal à 4,179.

Macé[2] l'a fait cristalliser artificiellement en mettant en communication deux dissolutions étendues, l'une de nitrate de baryte, l'autre de sulfate de fer, au moyen d'un fil plongeant dans chacune d'elles. Dans ces conditions, le contact des deux sels ne s'opère qu'avec une extrême lenteur et alors le sulfate de baryte cristallise à mesure qu'il se forme.

M. Frémy[3] a obtenu des cristaux de barytine par double décomposition lente, en opérant sur des liqueurs de densités différentes, séparées par une cloison poreuse ou une feuille de papier non collé.

Becquerel[4] est arrivé au même résultat en séparant les deux solutions de nitrate de baryte et de sulfate de soude par une feuille de papier parchemin.

M. Behrens[5] a étudié au microscope les formes cristallines du précipité de sulfate de baryte. Il a été conduit à cette observation par le désir de déterminer qualitativement la baryte dans les silicates insolubles. Le silicate pulvérisé est attaqué par l'acide fluorhydrique concentré et la dissolution obtenue, reprise par l'acide sulfurique étendu. On évapore de manière à chasser la majeure

1. Manross. *Ann. Ch. Pharm.*, t. LXXXII, p. 348. — *J. pr. Ch.*, t. LVIII, p. 55. — *Ph. cent.*, 1852, p. 726.
2. Macé, *C. r.*, t. XXXXI, p. 825. — *L'Inst.*, 1853, p. 156. — *J. pr. Ch.*, t. LIX, p. 367.
3. Frémy, *C. r.*, t. LXIII, 1866, p. 714.
4. Becquerel, *C. r.*, t. LXXXIX, 1874, p. 82.
5. Behrens, *Konin. Akad. von Wetenschappen, afd. Natürk*, 2e Recks, Deel XVII, Amsterdam, 1881.

partie de l'acide sulfurique et l'on reprend par l'eau chaude, de manière à obtenir un centimètre cube de liquide pour 1 milligramme de matière employée. On prend, au moyen d'une pipette capillaire, une goutte de ce liquide et on la porte sur un verre sous le microscope. Au bout de quelques instant un dépôt cristallin se forme. Ce sont des cristaux fusiformes, associés en croix. Les extrémités des fuseaux représentent les extrémités du rhombe primitif. Ces cristaux ont de $0^{mm},005$ à $0^{mm},012$.

Application à la géologie. — La barytine est un minéral de filons concrétionnés. Tous les procédés synthétiques, basés sur la voie humide, peuvent concourir à expliquer sa formation.

L'oxydation du sulfure de baryum paraît aussi donner naissance à ce minéral, si fréquemment associé dans la nature aux sulfures métalliques et au fluorure de calcium. Cependant aucune expérience synthétique, suivie d'un examen microscopique, n'a encore confirmé cette réaction si probable

---

CELESTINE (SrO, SO^3).

Ce sel peut être reproduit artificiellement par les mêmes méthodes que la barytine. Les procédés de **Manross** et de **Macé** sont notamment applicables.

M. Behrens a montré qu'en portant sous le microscope une goutte de liquide sulfurique contenant un sulfate de strontiane, on voit se former des cristaux fusiformes croisés, analogues à ceux que donne le sulfate de baryte, mais de plus grande taille et beaucoup moins transparents (voir à l'article **barytine**).

M. Frémy[1] a obtenu des cristaux de célestine par double décomposition lente, ou opérant sur des liqueurs de densités différentes, séparées par une cloison poreuse ou une feuille de papier non collé.

Application à la géologie. — La célestine est un minéral filonien; les procédés synthétiques par voie humide peuvent expliquer sa formation naturelle.

L'oxydation du sulfure de strontium paraît donner aussi naissance à ce minéral, et cependant aucune expérience synthétique, suivie d'un examen microscopique, n'a encore confirmé cette réaction si probable, notamment dans son gisement en association avec le soufre.

ANGLÉSITE (PbO, SO^3).

1852. Becquerel. — **1852.** Manross. — **1853.** Macé. — **1854.** Drevermann, **1866.** Frémy.

Le plomb sulfaté s'observe fréquemment dans les appareils servant au traitement de la galène et particulièrement dans les fours de grillage. Il s'y présente tantôt sous forme de cristaux distincts et tantôt en concrétions mamelonnées. Les cristaux sont des prismes orthorhombiques allongés, ou au contraire des lamelles hexagonales où l'on observe des angles plans déterminés par les faces *m* et h^1. Ils sont fréquemment maclés.

L'anglésite, accidentellement reproduite, a été recueillie par **Kuhlmann** dans des chambres de plomb où se rendaient les dernières vapeurs, non condensées, d'une fabrique d'acide sulfurique.

1. Frémy, *C. r.*, t. LXIII, 1866, p. 714.

Des cristaux d'anglésite ont été signalés par M. **Daubrée** à la surface d'objets en plomb, enfouis longtemps dans les fondations des thermes de Bourbonne-les-Bains. Ils s'y présentent en tables rectangulaires avec biseaux.

Becquerel [1] a obtenu du sulfate de plomb artificiellement cristallisé, en faisant réagir une dissolution de sulfate de cuivre et de chlorure de sodium sur un morceau de galène. L'action est très lente; Becquerel l'attribue à l'intervention de courants électriques faibles. Au bout de sept ans, l'échantillon de galène s'est montré recouvert de grands cristaux de chlorure de sodium et de chlorure de plomb, avec des cristaux plus petits d'anglésite.

D'après **Manross** [2], il se forme de l'anglésite quand on fond un mélange de sulfate de potasse et de chlorure de plomb. On isole après refroidissement les cristaux formés, en lessivant le culot à l'eau bouillante; ils se présentent sous la forme de lamelles rectangulaires. Manross a encore obtenu du sulfate de plomb cristallisé, en plongeant, dans une dissolution de sulfate de potasse, une petite balle de chlorure de plomb fondu, suspendue par un fil de platine. Au bout de quelque temps, on voit au sein du liquide se développer des cristaux d'anglésite, dont la longueur atteint jusqu'à deux millimètres.

Macé [3] a reproduit l'anglésite en mettant en communication, au moyen d'un fil, deux dissolutions placées dans des vases différents, l'une de sulfate de fer, l'autre de nitrate de plomb.

Drevermann [4] a obtenu de l'anglésite artificielle par voie de diffusion. Sa méthode consiste à remplir deux vases cylindriques, l'une d'une dissolution de sulfate de

1. Becquerel, *C. r.*, t. XXXIV, 1852, p. 29. — *L'Inst.*, 1852, p. 27. — *Ann. Ch. Pharm.*, t. LXXXIV, p. 199.
2. Manross, *Ann. Ch. Ph.*, t. LXXXII, 1852, p. 348.
3. Macé, *C. r.*, t. XXXVI, 1853, p. 825. — *L'Inst.*, 1853, p. 156.
4. Drevermann, *Ann. Ch Pharm.*, t. LXXXIX, 1854, p. 11.

potasse, l'autre d'une dissolution d'azotate de plomb, et à les plonger, à côté l'un de l'autre, dans un vase plus grand, plein d'eau. Dans ces conditions, on voit au bout de quelque temps se développer des cristaux sur lesquels on a reconnu la présence des faces p, g^1, m.

M. Frémy[1] a obtenu le sulfate de plomb cristallisé, par double décomposition lente, en opérant sur des liqueurs superposées de densités différentes, séparées par une cloison poreuse ou une feuille de papier non collé.

Application à la géologie. — L'anglésite se trouve généralement dans les chapeaux de fer des filons de galène; elle y provient de l'oxydation du sulfure de plomb; cependant les différents procédés synthétiques, par double décomposition lente, ont également dû être mis à contribution par la nature.

GYPSE ($CaO, SO^3 + 2HO$).

Le sulfate de chaux est loin d'être insoluble dans l'eau; c'est pourquoi l'on observe fréquemment des dépôts de gypse cristallisé partout où s'effectuent des évaporations ou des concentrations d'eaux chargées de ce sel.

L'oxydation des pyrites, et la réaction qui en résulte sur les calcaires en contact, amènent souvent la production du sulfate de chaux et par suite sa cristallisation.

Du gypse cristallisé a été observé dans l'écorce de la saponaire. **M. Sterry-Hunt**[2] a montré qu'en mélangeant deux dissolutions, l'une de bicarbonate de chaux, l'autre de sulfate de magnésie, il s'opérait une double décompo-

1. Frémy, *C. r.*, t. LXIII, 1866, p. 714.
2. Sterry-Hunt, *C. r.*, t. XLVIII, 1859, p. 1003. — *Jahresb.*, 1859, p. 135.

sition à une température comprise entre 40° et 80°. Il se fait un dépôt de gypse et il reste du bicarbonate de magnésie en dissolution. La présence du chlorure de sodium ou du chlorure de calcium dans le liquide empêche la réaction de s'accomplir.

Dans toutes ces cristallisations artificielles, le gypse se présente en longs prismes monocliniques identiques à ceux que l'on rencontre souvent dans la nature.

M. Behrens[1] a montré qu'en portant sous le microscope une goutte de liqueur sulfurique, contenant du sulfate de chaux, on voit se former de petits cristaux maclés rappelant les fers de lance naturels.

KIESÉRITE ($MgO, SO^3 + HO$).

Le sulfate de magnésie ordinaire, à 7 équivalents d'eau, se transforme en kiesérite, à la température de 132°, en perdant une portion de son eau. D'après M. Tschermak, ce sulfate est monoclinique. Il tire son intérêt de son gisement connu à Stassfurt, où il constitue des couches alternant avec le sel gemme.

EPSOMITE ($MgO, SO^3 + 7HO$).

Ce sel s'obtient aisément cristallisé par évaporation ou concentration de sa dissolution saturée. Il est dimorphe. Ses dissolutions l'abandonnent généralement sous forme de cristaux monocliniques. Dans la nature, il ne se ren-

1. Behrens, *K. Akad. v. Wetensch.*, 1881, Amsterdam, t. XVII.

contre qu'en cristaux orthorhombiques avec pans octacdriques généralement hémièdres.

SULFATE DE ZINC ($ZnO, SO^3 + 7HO$).

Ce sel cristallise aisément par évaporation de sa dissolution. Il possède la forme et la composition du sulfate naturel orthorhombique, quand on opère la cristallisation à une température inférieure à 30°.

ALUMINITE ($Al^2O^3, SO^3 + 9HO$).

En traitant par l'ammoniaque une dissolution de sulfate d'alumine, on obtient un précipité pulvérulent qui possède la composition de l'aluminite.

ALUNOGÈNE ($Al^2O^3, 3SO^3 + 18HO$).

On produit ce sel en dissolvant l'alumine hydratée dans l'acide sulfurique étendu, ou encore en traitant l'alun ammoniacal par l'acide nitrique, décomposant le nitrate d'ammoniaque par la chaleur et reprenant par l'eau. Il se forme ainsi des cristaux lamellaires ou des prismes très allongés, monocliniques, doués d'un éclat nacré.

ALUNITE ($KO, SO^3 + 3 (Al^2O^3, SO^3) + 6HO$).

Une dissolution d'alun de potasse, chauffée avec de l'alumine hydratée, donne un précipité ayant la composition de l'alunite. Le même précipité pulvérulent se forme quand on traite une dissolution d'alun par une quantité insuffisante de potasse.

Une expérience de **Charles Sainte-Claire Deville**[1] rend compte de la production de l'alunite aux dépens des roches volcaniques; il a fait passer, pendant plusieurs mois, un courant lent d'hydrogène sulfuré, mélangé d'air, sur du feldspath pulvérisé, tenu en suspension dans de l'eau à 30°. Au bout de ce temps, il a constaté que l'attaque du feldspath avait donné naissance à des sulfates.

ALUN ($RO, SO^3 + Al^2O^3, 3SO^3 + 24HO$).

Dufrénoy a signalé la cristallisation accidentelle de l'alun potassique dans les roches de la solfatare de Pouzzoles, qui avaient été chauffées pour l'extraction du soufre dont elles étaient imprégnées.

L'alun ammoniacal cristallisé a été recueilli à Tschermig (Bohême) dans un gisement de lignites embrasés.

La fabrication de l'alun cristallisé est l'objet d'une importante industrie. Ce sel s'obtient facilement en très beaux cristaux, dont les particularités ont été fréquemment observées et discutées. D'après M. Mallard[2], un cristal d'alun est formé de huit cristaux pyramidaux, ayant

1. Charles Sainte-Claire Deville, *C. r.*, t. XXXV, 1852, p. 261.
2. Mallard, *Phénomènes optiques anomaux*, 1877, p. 62.

pour base les faces de l'octaèdre et doués de la symétrie ternaire rhomboédrique autour des diagonales du cube primitif.

SULFATE DE FER ($FeO, SO^3 + 7HO$).

Ce sel se produit fréquemment par suite de l'oxydation des pyrites.

Il cristallise aisément de ses dissolutions. Sa production est effectuée en grand dans l'industrie; il se montre en prismes monocliniques.

SULFATE DE NICKEL ($NiO, SO^3 + 7HO$).

Le sel naturel n'a été trouvé qu'en agrégats fibreux. Le produit artificiel, formé par évaporation d'une dissolution, est orthorhombique, quand la cristallisation s'effectue au-dessous de 30°, et contient 7 équivalents d'eau.

Entre 30° et 40°, on obtient un sel à 6 équivalents, quadratique; et enfin entre 50 et 70°, il se forme encore un sel à 6 équivalents d'eau, qui est monoclinique.

SULFATE DE COBALT ($CoO, SO^3 + 7HO$).

En évaporant une dissolution de sulfate de cobalt, on fait cristalliser ce sel sous la forme monoclinique qu'il affecte dans la nature.

SULFATE DE CUIVRE ($CuO, SO^3 + 5HO$).

Ce sel résulte fréquemment, dans la nature, de l'oxydation spontanée des pyrites cuivreuses.

Il cristallise par évaporation de sa dissolution avec la composition et la forme triclinique du sel naturel.

BROCHANTITE [$2(CuO, SO^3) + 5(CuO, HO)$].

1852. Becquerel.

La brochantite, nettement cristallisée avec ses formes naturelles orthorhombiques, a été reproduite par **Becquerel**[1] en mettant en contact pendant plusieurs mois une dissolution de sulfate de cuivre avec un morceau de carbonate de chaux.

Plusieurs autres procédés fournissent aisément la brochantite à l'état de dépôts pulvérulents cristallins. Ainsi, on l'obtient en précipitant incomplètement une dissolution de sulfate de cuivre par la potasse ou l'ammoniaque, et faisant longtemps bouillir le précipité.

Un précipité semblable se forme à la longue, quand on abandonne à l'air libre une dissolution de sulfate ammoniacal de cuivre.

Enfin, le même résultat se produit aussi quand on fait agir une dissolution de sulfate de cuivre sur du carbonate de cuivre fraîchement précipité.

1. Becquerel, *C. r.*, t. XXXIV, 1852, p. 537. — *J. f. ph. Ch.*, t. LVI, p. 471.

Application à la géologie. — La brochantite est un minéral de filon concrétionné. Des décompositions lentes de dissolutions de sels de cuivre opérées, soit spontanément, soit par réaction sur un autre sel, peuvent lui avoir donné naissance dans la nature.

XVIII

SÉLÉNIUM — SÉLÉNIURES — SÉLÉNITES

SÉLÉNIUM.

1827. Mitscherlich. — **1851.** Hittorf.

Ce corps n'a été trouvé dans la nature qu'en minces écailles, dénuées de contours réguliers; c'est seulement à l'aide d'une cristallisation artificielle que l'on a pu déterminer son système cristallin.

Mitscherlich[1] a tenté vainement de faire cristalliser le sélénium par refroidissement après fusion ou par décomposition lente des séléniures alcalins; même insuccès en évaporant une solution de sélénium dans le sulfure de carbone. Par ces procédés divers, on obtient seulement des granules opaques ou des écailles transparentes, ressemblant aux lamelles du sélénium naturel. Cependant, des cristaux de ce corps ont été préparés par le savant chimiste, en laissant digérer longtemps du sulfure de carbone sur du sélénium en poudre fine. L'opération se fait en vase clos. Les cristaux qui se produisent sont monocliniques, les faces dominantes sont p, $d^{1/2}$ et $b^{1/2}$.

Le sélénium amorphe, résultant de la décomposition de l'acide sélénieux par l'acide sulfureux, est l'analogue du

1. Mitscherlich, *Pogg. Ann.*, t. XI, 1827, p. 323 et 511. — *Id.*, t. XVIII, 1830, p. 168.

soufre amorphe. **Hittorf**[1] a montré que cette variété se transformait en sélénium cristallisé à la température de 90°, en produisant une élévation de température de 30°.

CLAUSTHALITE ($PbSe$).

1877. MARGOTTET.

Little[2], en fondant un mélange de plomb et de sélénium, a produit un composé ayant le poids spécifique et la composition du plomb sélénié naturel, mais non cristallisé.

M. **Margottet**[3] a obtenu le plomb sélénié cristallisé en soumettant ce composé au rouge sombre à l'action d'un courant lent d'hydrogène. Une sublimation s'opère; il se forme des cristaux cubiques, sans modifications, nettement clivables dans trois directions rectangulaires.

BERZELIANITE (Cu^2Se).

1877. MARGOTTET.

D'après **Little**[4] quand on fond un mélange, en proportions convenables, de cuivre et de sélénium, on obtient une matière cristalline d'un gris noirâtre dont le poids spécifique est égal à 6,55.

1. Hittorf, *Pogg. Ann.*, t. LXXXIV, p. 214.
2. Little, *Ann. de ch. et pharm.*, t. CXII. p. 211.— *Ch. cent.*, 1860, p. 131.
3. Margottet, *C. r.*, t. LXXXV, 1877, p. 1142, et thèse 1877.
4. Little, *Ann. de ch. et ph.*, t. CXII, p. 211. — *Ch. cent.*, 1860, p. 121.

M. **Margottet**[1] a obtenu des cristaux de berzelianite en faisant passer lentement sur du cuivre, au rouge sombre, un courant d'azote chargé de vapeurs de sélénium. Il se forme de beaux cristaux d'un noir bleuâtre à reflet métallique. Ce sont des octaèdres réguliers.

Le même savant a produit par une méthode analogue du tellurure de cuivre (Cu^2Te) cristallisé en octaèdres réguliers.

EUCAÏRITE ($Cu^2Se + AgSe$).

1877. MARGOTTET.

M. **Margottet**[2] a obtenu ce composé, cristallisé en octaèdres réguliers, par l'emploi de la méthode qu'il a appliquée aux autres séléniures.

NAUMANNITE ($AgSe$).

1877. MARGOTTET.

Ce corps a été préparé à l'état cristallisé par M. **Margottet**[3] en faisant passer de la vapeur de sélénium, entraînée lentement par un courant d'azote, sur de l'argent porté au rouge sombre. Dans cette expérience, il se fait d'abord des aiguilles filiformes de deux centimètres de long; puis bientôt, si l'on prolonge l'opération, ces produits se trans-

1. Margottet, *C. r.*, t. XXXXV, 1877, p. 1142.
2. Margottet, *C. r.*, t. LXXXV, 1877, p. 1142, et thèse, 1877.
3. Margottet, *C. r.*, t. LXXXV, 1877, p. 1142.

forment en cristaux d'un gris d'acier. Les cristaux ainsi formés sont des dodécaèdres rhomboïdaux.

Application à la géologie. — L'argent sélénié est un minéral de filon concrétionné. Le procédé de M. Margottet peut avoir été utilisé par la nature.

TIEMANNITE (Hg Se).

1860. Little. — **1877.** Margottet.

Little a obtenu ce corps sous forme de petits cristaux, en sublimant la matière résultant de l'union directe du mercure et du sélénium. Le poids spécifique 8,887 de ces cristaux est supérieur à celui des cristaux naturels, ce qui a fait élever quelques doutes sur l'identité des deux produits.

M. Margottet [1] a obtenu la tiemannite en fondant dans le vide, à 440°, du sélénium en présence du mercure, et distillant doucement le produit obtenu. A deux ou trois centimètres de la partie la plus chauffée du tube, il se forme une géode, tapissée de beaux cristaux, faciles à isoler. Ces mêmes cristaux peuvent aussi être obtenus dans un courant de gaz inerte, mais ils sont alors moins développés.

Ce sont des cubo-octaèdres réguliers, maclés parallèlement à une des faces de l'octaèdre avec axe d'hémitropie perpendiculaire. L'angle rentrant de deux faces a^1 est de 140° 52′; c'est l'angle de l'octaèdre transposé d'Haüy. Le poids spécifique est en moyenne de 8,21.

1. Margottet, *C. r.*, t. LXXXV, 1877, p. 1142, et thèse 1877.

CHALCOMÉNITE ($CuO, SeO^2 + 2HO$).

1881. Friedel et Sarasin.

La chalcoménite, sélénite de cuivre naturel, découvert par M. des Cloizeaux en 1881 et étudié par M. Damour, a été reproduite artificiellement par MM. **Friedel et Sarasin**, en chauffant à 200° environ, en tube scellé, en présence de l'eau, le précipité que l'on obtient quand on traite une solution neutre de sélénite de potasse par le sulfate de cuivre.

Les cristaux sont bleus, transparents; ils appartiennent au système monoclinique et présentent les faces h^1, m, p et δ ($d^{1/2}\ d^{1/6}\ h^1$). Les propriétés optiques sont celles des cristaux naturels. On a : $m/\delta = 144°$, $p/\delta = 125°$ à $126°$.

MM. Friedel et Sarasin[2] ont en outre obtenu des cristaux volumineux d'une sélénite de cuivre de même composition, en plaçant, dans un tube fêlé, du sélénite de potasse, et plongeant ce tube dans une dissolution de sulfate de cuivre. Ces cristaux, produits à froid, diffèrent de la chalcoménite naturelle ; ils sont orthorhombiques et présentent surtout les faces $m, p, g^1, a^1, e^1, b^{1/2}, a^2, e^2$. On a : $m/m = 84°26'$, a^1/a^1 (au sommet) $= 107°42'$, e^1/e^1 (au sommet) $= 99°10'$.

La bissectrice est perpendiculaire à h^1 ; les axes sont assez rapprochés.

Application à la géologie. — La chalcoménite est un minéral filonien. La première expérience de MM. Friedel et Sarasin explique son mode de formation naturel.

1. Friedel et Sarasin, *Bull. Soc. min.*, 1881, p. 176.
2. Friedel et Sarasin, *Bull. Soc. min.*, 1881, p. 225.

XIX

TELLURE — TELLURURES

TELLURE.

Le tellure peut être obtenu cristallisé, soit par fusion, soit par réduction au sein d'une dissolution. Dans le premier cas, les cristaux sont des rhomboèdres de 86°57′; dans le second, ce sont des prismes hexagonaux terminés par un pointement rhomboédrique. Des clivages faciles ont lieu parallèlement aux faces du prisme; mais il existe en outre un clivage basal moins prononcé.

M. Margottet[1] a obtenu le tellure cristallisé en le volatilisant, ou dans un gaz inerte, ou dans un tube clos préalablement purgé d'air. Les cristaux obtenus sont des prismes hexagonaux, surmontés d'une pyramide; l'angle de deux faces adjacentes de la pyramide est de 130°,28′, et celui d'une face de la pyramide avec la face correspondante du prisme est de 147°,13′.

M. Margottet a encore obtenu le tellure cristallisé en abandonnant à l'air libre une dissolution de tellurure de potassium. Les cristaux obtenus présentent la même forme que précédemment.

1. Margottet, *C. r.*, t. LXXXV, 1877, p. 1142, et thèse.

ALTAITE (PbTe).

Le plomb et le tellure s'unissent aisément par fusion, mais ils ne donnent ainsi qu'une matière compacte.

M. Margottet[1], pour reproduire ce corps à l'état cristallisé, fond vers 500 degrés un mélange de tellure et de plomb, et volatilise ensuite le composé qui se forme dans un courant de gaz inerte. Les cristaux obtenus sont des cubes sans modification, avec trois clivages rectangulaires.

TELLURURE DE MERCURE (HgTe).

1877. Margottet.

Le tellurure de mercure s'obtient, d'après M. **Margottet**[2], par la combinaison directe des vapeurs des deux éléments vers 800 degrés. Il se présente sous la forme d'une poudre noire amorphe; pour la faire cristalliser, on la sublime dans le vide, à la température d'ébullition du mercure.

Les cristaux sont des cubo-octaèdres réguliers. Les faces sont très inégalement développées.

Dans la nature, le tellurure de mercure ne se rencontre qu'en mélange avec des minéraux étrangers, de telle sorte que, ni sa composition, ni sa forme cristalline, n'avaient pu être déterminées.

1. Margottet, *C. r.*, t. LXXXV, 1877, p. 1142, et thèse, 1877.
2. Margottet, *id.*

HESSITE (Ag Te).

1877. MARGOTTET.

M. **Margottet**[1] a obtenu ce corps cristallisé en octaèdres réguliers, en soumettant, au rouge sombre, l'argent à l'action de vapeurs de tellure entraînées par un courant d'azote. Les cristaux, ainsi formés, se présentent groupés en longs chapelets.

Application à la géologie. — L'argent telluré est un minéral de filon concrétionné. La méthode de M. Margottet peut avoir contribué à sa production dans la nature.

PETZITES (mAg Te + Au Te).

1877. MARGOTTET.

M. **Margottet**[2] a obtenu un tellurure d'or (Au Te), cristallisé, en exposant des feuilles d'or dans le vide à l'action de vapeurs de tellure. La température de l'opération est celle de l'ébullition du soufre.

En opérant sur des alliages d'or et d'argent, on peut effectuer la réaction à la pression ordinaire. On arrive à obtenir ainsi des combinaisons diverses.

Dans tous ces cas, les cristaux obtenus sont des dodé-

1. Margottet. *C r.*, t. LXXXV, 1877, p. 1142.
2. Margottet, *id.*

caèdres rhomboïdaux, d'un noir brillant, très fusibles quand l'or domine dans leur composition.

M. Margottet conclut de ces expériences que le tellurure d'or et le tellurure d'argent peuvent cristalliser ensemble en toutes proportions.

XX

CHLORURES — OXYCHLORURES

SEL AMMONIAC ($Az H^4 Cl$).

Le sel ammoniac cristallise par évaporation de ses dissolutions ou par sublimation. Ses cristaux sont cubiques; mais il se présente souvent en agrégats fibreux, notamment lorsqu'il tapisse les fumerolles volcaniques. Il y est généralement accompagné de carbonate d'ammoniaque.

SYLVINE (KCl).

La sylvine a été trouvée, reproduite accidentellement, dans plusieurs hauts fourneaux du Hartz; elle s'y montre comme un produit de sublimation. On l'observe aussi dans les eaux mères du sel marin; elle y cristallise sous forme de cubes. Dans les résidus de la fabrication du savon, on la trouve au contraire en octaèdres.

SEL MARIN ($Na Cl$).

Le chlorure de sodium cristallise aisément par évaporation de ses dissolutions. Il peut aussi cristalliser par

voie de sublimation [1]: c'est ainsi que fréquemment il a été recueilli sur les parois des hauts fourneaux, le plus souvent sous formes d'agrégats cristallins, quelquefois en masses compactes.

Sa forme normale est celle du cube. Les cristaux sont creusés en trémies, si leur formation s'est opérée rapidement; ils sont au contraire à faces lisses, quand elle a eu lieu à froid et lentement.

Knop [2] a obtenu du chlorure de sodium cristallisé sous forme d'octaèdres réguliers, en évaporant lentement une dissolution de ce sel dans l'urine. Ces cristaux avaient plus d'un centimètre et demi de diamètre; les faces de l'octaèdre étaient imparfaitement pyramidées.

Comme tous les cristaux formés par voie humide, les cristaux de sel contiennent des inclusions aqueuses à bulle mobile.

CARNALLITE ($KCl + 2MgCl + 12HO$).

Liebig a trouvé la carnalite cristallisée dans les eaux mères des salines. **Rammelsberg** a constaté que le sel, cristallisé par évaporation d'une dissolution des deux chlorures de magnésium et de potassium, possède la forme orthorhombique et la composition de la carnalite.

COTUNNITE ($PbCl$).

Le chlorure de plomb, cristallisé par évaporation de sa dissolution aqueuse, se présente sous la forme de longues

1. Rammelsberg, *Métallurgie*, p. 93.
2. Knop, *Ann. ch. pharm.*, t. CXXVII, p. 68.

aiguilles ou de lamelles à six côtés, quand l'évaporation se fait rapidement. On obtient des cristaux orthorhombiques déterminables, quand l'opération est conduite lentement. Les faces dominantes sont $b^{1/2}$, $b^{1/4}$, p, h^1, a^1.

Becquerel a reproduit la cotunnite par voie chimique lente. Il a placé des fragments de galène dans une dissolution de sulfate de cuivre et de chlorure de sodium. Au bout de sept ans, il a recueilli du chlorure de plomb en longues aiguilles, légèrement jaunâtres, ou en prismes plus raccourcis.

KÉRARGYRE (Ag Cl).

Le chlorure d'argent, dissous dans l'ammoniaque, se dépose, après évaporation, sous forme d'octaèdres réguliers. Ce sel cristallise encore très aisément quand on évapore sa dissolution dans le nitrate ou dans le sulfate de bioxyde de mercure; les cristaux sont alors d'un blanc jaunâtre.

Becquerel [1] a fait cristalliser du chlorure d'argent en mettant, en contact prolongé, de l'acide chlorhydrique avec une lame d'argent à une température de 100 à 150°, en tube scellé. Il a obtenu ainsi des cubo-octaèdres. Le même procédé conduit à la cristallisation du bromure et de l'iodure d'argent, quand on remplace l'acide chlorhydrique par les acides bromhydrique ou iodhydrique.

Le chlorure d'argent s'obtient en beaux cristaux légèrement jaunâtres [2], quand on le dissout à chaud dans une solution d'un sel de bioxyde de mercure et qu'on abandonne ensuite la liqueur au refroidissement.

1. Becquerel, *C. r.*, t. XLIV, 1852, p. 938.
2. *Id.*, *Ann. ch. pharm.*, t. XLI, p. 317.

MM. H. Sainte-Claire Deville et Debray ont aussi fait cristalliser ce corps, en le prenant à l'état amorphe et le soumettant pendant longtemps à des alternatives répétées de réchauffement et de refroidissement, en présence d'une liqueur chlorhydrique.

Application à la géologie. — Le kérargyre est un minéral filonien. L'expérience de Becquerel, ou mieux encore celle de MM. H. Sainte-Claire Deville et Debray expliquent les gisements naturels de ses cristaux.

CALOMEL (H^2Cl).

Le calomel se produit quelquefois accidentellement dans le traitement des minerais mercuriels. Ainsi, il a été trouvé en beaux cristaux dans une usine de Hongrie, où l'on grillait un mélange de panabase mercurielle et de sel marin.

Des procédés divers sont employés soit dans l'industrie, soit dans les laboratoires, pour obtenir ce composé. Le moyen le plus avantageux pour opérer sa cristallisation consiste à distiller le calomel du commerce. Les cristaux, qui se déposent dans ce cas sur les parties froides des appareils de sublimation, sont des prismes quadratiques présentant les faces m, p, a^1, h^1, $b^{1/2}$. Ils sont translucides, possèdent un éclat adamantin. Des macles en croix sont fréquentes. Le poids spécifique de ces cristaux artificiels est de 6,4.

ATACAMITE ($CuCl + 3CuO + 4HO$).

1867. Debray. — **1873.** Friedel.

Field [1] a signalé l'exemple assez curieux d'une production accidentelle d'atacamite en grande masse (8 tonnes). Le dépôt en question s'était formé dans un canal souterrain, déversant à la mer les détritus d'une fonderie de cuivre. La couche supérieure du dépôt était formée d'oxyde de cuivre, la seconde couche constituée par du chlorure anhydre et par un sous-sulfate, et la couche inférieure par une masse ayant la composition de l'atacamite.

M. Daubrée [2] a signalé un dépôt concrétionné d'atacamite sur un tuyau de bronze, provenant des fouilles de la source thermale de Bourbonne-les-Bains.

Dans les laboratoires, on obtient aisément, par divers procédés, des précipités grenus ayant la composition de l'atacamite; mais jusqu'à présent la cristallinité de ces produits n'ayant pas été démontrée, nous les passons à dessein sous silence.

Un oxychlorure de cuivre, hydraté possédant toutes les propriétés de l'atacamite, a été obtenu par **M. Debray** [3] en chauffant, pendant plusieurs heures, en vase clos, à 200°, un mélange de deux dissolutions, l'une de nitrate tribasique de cuivre, l'autre de chlorure de sodium. Le nitrate tribasique ne peut être remplacé dans cette opération par aucun autre sel de cuivre simple.

M. Debray a réalisé encore la cristallisation de l'ataca-

1. Field, *J. f. pr. Ch.*, 1859, t. LXXVI, p. 255.
2. Daubrée, *C. r.*, t. LXXXI, 1875, p. 182.
3. Debray, *Bull. de la Soc. ch.* (2e série), t. VII, p. 104. — *Zeitsch. Ch.*, 1867, p. 378.

mite en chauffant à 100° deux dissolutions mélangées, l'une de sulfate de cuivre ammoniacal, l'autre de chlorure de sodium.

M. Friedel[1] a reproduit aussi l'atacamite cristallisée. Son procédé consiste à chauffer pendant dix-huit heures, en vase clos, à 250°, une solution de perchlorure de fer contenant de l'oxydule de cuivre en suspension. Il se forme ainsi de beaux cristaux verts orthorhombiques susceptibles de mesures géométriques. L'angle des deux faces contiguës a^1 a été trouvé de 105° 34′, sensiblement égal à l'angle analogue dans les cristaux naturels.

Application à la géologie. — L'atacamite est un produit de filon et de dépôts concrétionnés. On l'observe aussi dans les fumerolles volcaniques. L'action d'un chlorure, soluble à haute température, sur un sel ou un oxyde de cuivre, explique ses deux genres de gisements.

MATLOCKITE ($PbO + PbCl$).

Dans les expériences entreprises par **Becquerel**[2] pour arriver à la synthèse du chlorure de plomb, le savant physicien a obtenu deux sortes de produits cristallisés: 1° le chlorure de plomb cherché, 2° une matière en cristaux qui semblent cubiques et ont la composition de la matlockite. Ces cristaux ne paraissent pas avoir été observés à la lumière polarisée, de telle sorte qu'un certain doute reste sur leur détermination.

1. Friedel, *C. r.*, t. LXXVII, 1873, p. 211.
2. Becquerel, t. XXXIV, p. 29. — *L'Inst.*, 1852, p. 27. — *Ann. de ph. et ch.*, t. LXXXIV, p. 199.

XXI

FLUORURES

FLUORINE ($CaFl$).

1850. Sénarmont. — **1874.** Becquerel. — Scheerer et Drechsel.

Les précipités de fluorure de calcium que l'on obtient par double décomposition, sont souvent gélatineux. Cependant celui que l'on produit en traitant le carbonate de chaux par l'acide fluorhydrique, est grenu.

Sénarmont[1] a transformé du fluorure de calcium gélatineux, récemment précipité, en une poudre cristalline composée de petits cubo-octaèdres. A cet effet, il a chauffé la matière employée, en tube scellé à 180 degrés, en présence d'une liqueur chlorhydrique ou d'une dissolution de bicarbonate de soude.

Becquerel[2] a obtenu la fluorine en évaporant une dissolution de fluorure de calcium dans l'acide chlorhydrique. Dans une autre expérience, il a employé deux dissolutions, l'une de fluorure d'ammonium, et l'autre de chlorure de calcium, séparées par une feuille de papier-parchemin ou par une lamelle de collodion. Il se forme des cubes ou des lamelles de fluorure de calcium longues

1. Sénarmont, *Ann. de ph. et ch.*, t. XXX, 1850, p. 129.
2. Becquerel, *C. r.*, t. LXXVIII, 1874, p. 1081.

de plusieurs centimètres, le dépôt s'opère du côté de la solution de chlorure de calcium.

MM. Scheerer et **Drechsel**[1] ont obtenu des cristaux de fluorine octaédrique, en fondant un mélange de fluorure de calcium et d'un chlorure de potassium, de sodium ou de calcium. Le refroidissement doit être très lent. Ils ont obtenu des cubo-octaèdres de fluorine, en chauffant le fluorure de calcium en vase clos, à 240 degrés, en présence d'une solution d'acide chlorhydrique, de fluosilicate de chaux ou de chlorure de calcium étendu.

Application à la géologie. — La fluorine est un minéral de filons concrétionnés. La méthode de Sénarmont peut expliquer sa cristallisation dans la majeure partie des cas naturels.

SELLAÏTE.

1881. Cossa.

La sellaïte (fluorure de magnésium) a été reproduite artificiellement par M. Cossa[2] en fondant au rouge du fluorure de magnésium amorphe, ou encore, en fondant un mélange de ce sel avec un fluorure alcalin. Après refroidissement et lavage, on recueille des cristaux à formes quadratiques dont la composition et les propriétés physiques sont celles de la sellaïte naturelle. Les faces observées sont : m, h^1, a^1, $b^{1/2}$, b^1 ; $a^1/h^1 = 123°30'$. Macle suivant a^1. Ces cristaux sont phosphorescents.

1. Schecrer et Drechsel, *Journ. pr. Ch.*, (2), t. VII, p. 63.
2. Cossa, *Ricerche chim. e microsc.* Turin, 1881, p. 83.

XXII

MÉTAUX NATIFS

FER.

Il n'est pas rare de rencontrer, dans l'industrie, des échantillons de fer doués d'une structure cristalline manifeste, mais en revanche on n'a pas souvent observé le fer à l'état de cristaux distincts et susceptibles de mesures goniométriques. Nous empruntons à M. Fuchs[1] les indications suivantes, relatives à des faits de ce genre :

Cristaux octaédriques, signalée par **Hausmann**[2] dans les échantillons de fer ductile de divers hauts fourneaux.

Cristaux hexaédriques, trouvés par **Wöhler**[3] dans un bloc de fer enfermé dans un mur de haut fourneau.

Cristaux octaédriques à clivages hexaédriques, trouvés par **Nöggerath**[4] dans une masse de fer provenant aussi d'un bloc enclavé dans l'épaisseur d'un mur de haut fourneau.

Beaux cristaux à clivages hexaédriques trouvés par **Cornuel**[5] dans un four à puddler.

Fer à structure réticulée, rencontré à Teschen[6] entre une couche de scories et un lit de charbon.

1. Fuchs, *Die küns. dar. Min.*, p. 17.
2. Hausmann, *Gött. gelehr. Anz.*, 1817, p. 101.
3. *Pogg. Ann.*, t. XXVI, p. 182.
4. Nöggerath, *Schweigg., J. Ch.*, 1825, t. XLIV, p. 251.
5. Cornuel, *C. r.*, t. XXXV, 1852, p. 961.
6. *J. k. k. geol. Reichs.*, 1850, p. 151.

Cristal octaédrique de fer, signalé par **Carnall**[1] dans la cavité d'un lingot de fer, travaillé dans l'usine de Malapane.

Cubes avec troncactures sur les arêtes, rencontrés par **Ulrich**[2] dans une fabrique d'acier.

Cube de 5 millimètres de côté, signalé par **Breguet**[3] dans les matières provenant d'un four de fusion.

Cristaux avec les faces de l'octaèdre, du cube et du dodécaèdre rhomboïdal, déposés dans la collection de la direction supérieure des mines à Berlin. Ces cristaux, très purs, ont des faces concaves et sont recouverts d'un léger enduit d'oxydule de fer.

Quand on fait passer lentement, dans un tube chauffé au rouge, un double courant d'hydrogène et de perchlorure de fer, le chlorure se trouve réduit et l'on obtient un dépôt de cristaux cubiques de fer.

Dans ses expériences sur les alliages de nickel et de fer, **M. Stanislas Meunier**[4] a appliqué la méthode précédemment utilisée par **M. Peligot** et employée jadis par **Durocher**, qui consiste à réduire les chlorures métalliques par l'hydrogène à haute température. Il a obtenu ainsi divers alliages de nickel et de fer cristallisés ; l'un d'eux ayant pour composition $NiFe^6$, est remarquable par le développement des aiguilles cristallines qu'il fournit. Ce composé existe dans les météorites.

Application à la géologie. — Le fer natif s'observe dans les météorites et dans certaines basaltes. La réduction du fer oxydulé des météorites artificielles par un gaz hydrogéné rend compte de ces gisements. Le mode opératoire,

1. Carnall, *Ding. pol. j.*, t. CLI, p. 428. — *N. J. Pharm.* t. XI, p. 265. — *J. pr. Ch.*, t. LXXVI, 235.
2. Ulrich, *Jahr. f. Min.*, 1856, p. 666.
3. Breguet, *Ch. News.*, t. VI, p. 261. — *Jahresb.* 1862, p. 190.
4. Stanislas Meunier, *C. r.*, t. LXXXVII. 1878. p. 855.

employé par M. Stanislas Meunier peut aussi avoir été appliqué par la nature dans les météorites riches en fer.

ÉTAIN.

D'après **Breithaupt**[1], l'étain se rencontre à l'état cristallisé dans les fourneaux des usines du Cornouailles.

L'étain peut aussi être obtenu en cristaux par voie humide, au moyen de la décomposition de ses sels par l'électricité et, dans ce cas, il présente souvent une grande variété de formes. En outre des faces de la pyramide quadratique fondamentale a^1, on observe les faces du prisme, celles de la pyramide a^3, et de plus les faces h^1 et h^3. On constate aussi l'existence de macles avec a^1 ou a^3 pour faces d'accouplement.

CUIVRE.

Des cristaux de ce métal ont été observés plusieurs fois dans les échantillons massifs provenant des usines où l'on procède à son extraction. Il a été trouvé notamment dans les produits des usines de Campiglia en Toscane, de Riechelsdorf, de Dillenburg, du Lautenthal dans le Harz, de Mitterberg en Tyrol.

Wöhler[2] a montré que l'aventurine artificielle devait son éclat à des petites lamelles cristallines de cuivre.

Souvent, le cuivre cristallisé a été trouvé dans des conditions telles que son origine contemporaine, par voie

1. Breithaupt, *Pogg. Ann.*, t. XL, p. 456, t. LVIII, p. 660.
2. Wöhler, *Gött. gelehrt. Anz.*, t. V, 1842, p. 1785.

humide, n'était pas douteuse. Ainsi, on l'a fréquemment observé dans les mines de cuivre à la surface des boisages; il provient alors de la réduction d'un sel de cuivre par la matière organique. Dans d'autres cas, la réduction avait été opérée par des métaux ou des composés métalliques plus oxydables.

La réduction des sels de cuivre par une matière organique et la cristallisation du cuivre ont été obtenues sans difficulté dans les laboratoires; cependant cette action est très lente à la température ordinaire. On l'accélère, comme l'a montré **Sénarmont**[1], en opérant en vase clos à 250 degrés.

Comme agents réducteurs, on a employé aussi l'acide phosphoreux et l'acide sulfureux qui décomposent les dissolutions cuivriques; mais alors le cuivre obtenu n'est pas cristallisé; il est filamenteux comme certains échantillons de cuivre naturel.

Les formes du cuivre cristallisé artificiellement sont les mêmes que celles du cuivre naturel. Dans un échantillon obtenu par voie de réduction, **Mallet**[2] a observé les faces du cube, de l'octaèdre et de dodécaèdre rhomboïdal.

M. Sidot[3] a produit de petits octaèdres de cuivre métallique, en plongeant à froid des bâtons de phosphore dans une dissolution de sulfate de cuivre. Il convient de renouveler à plusieurs reprises la dissolution de sulfate de cuivre; au bout de quelques mois, les bâtons de phosphore se trouvent enveloppés d'une croûte composée de phosphure de cuivre et d'octaèdres de cuivre natif en saillie.

M. **Margottet**[4] a produit du cuivre filiforme par la

1. Sénarmont, *Ann. de ph. et ch.*, 3e série, t. XXXII, p. 129, 1851.
2. Mallet, *Sill. amer. J.*, t. XXX, p. 253.—*J. f. pr. Ch.*, 1861, t. LXXXIV, p. 63.
3. Sidot, *C. r.*. 1877, t. LXXXIV, p. 1454.
4. Margottet, *C. r.*, 1877, t. LXXXV, p. 1142, et thèse.

réduction du sulfure dans un courant d'hydrogène, à la température du rouge vif. En remplaçant le sulfure de cuivre par des sulfures ou séléniures doubles de cuivre et d'argent, il a obtenu des alliages filiformes de ces deux métaux.

Application à la géologie. — Le cuivre natif se rencontre dans des grès et dans des roches éruptives basiques ; il y remplit des veines ou des poches. La décomposition de ses dissolutions par voie de réduction explique les conditions de ces gisements dans la nature.

PLOMB.

Ce métal est rare à l'état natif dans la nature : il n'y a jamais été trouvé cristallisé; sa forme cristalline est donc connue seulement par les reproductions. Il est facile du reste de l'obtenir artificiellement à l'état de cristaux. Dès 1791, **Pajot**[1] montrait que le plomb, fondu et refroidi ensuite, présentait souvent des cristaux nettement reconnaissables. Des observations du même genre ont été faites plus tard par **Monyez**, **Braunsdorf** et **Marx**[2]. Le meilleur moyen à employer pour mettre la cristallisation du plomb en évidence, consiste à percer la croûte, qui se forme avant la solidification complète, et à laisser écouler le plomb demeuré encore liquide.

Les cristaux qui se forment ainsi sont des octaèdres réguliers à arêtes courbes, à faces déprimées, formant souvent des groupements arborisés ou des plaques réticulées.

1. Pajot, *Obs. sur la phys.*, t. XXXVIII, p. 52, 1791.
2. *J. f. pr. Ch.*, t. I, p. 120. — *Schweigg. J. Ch.*, t. LVII, p. 193.

Nöggerath[1] et **Leonhard**[2] ont recueilli, dans les usines, des cristaux de plomb ayant jusqu'à 2 centimètres de côté.

Le plomb pauvre, séparé par le procédé Pattinson, constitue une poudre cristalline dont les éléments sont quelquefois visibles à l'œil nu. Dans tous les échantillons cristallisés par voie sèche, la forme cubique est rare.

Les dissolutions des sels de plomb décomposées par les actions électriques produisent aussi de belles arborisations cristallines. On peut obtenir ce résultat, soit en faisant intervenir directement le courant d'une pile, soit en employant la disposition qui produit la cristallisation connue sous le nom d'arbre de Saturne.

Durocher a fait cristalliser le plomb en réduisant son chlorure par l'hydrogène sulfuré au rouge.

BISMUTH.

Le bismuth est de tous les métaux celui que l'on obtient le plus aisément cristallisé, par voie de fusion. Il se présente en rhomboèdres de 87°40′. La troncature basale s'observe rarement, bien que le bismuth cristallisé possède un clivage très marqué parallèlement à la base. Les précautions à prendre, pour obtenir de beaux cristaux de bismuth, sont tout à fait du ressort de la chimie.

Les dissolutions de sels de bismuth, précipitées par le fer ou le zinc, donnent au commencement de la réaction un précipité cristallin grenu de bismuth.

Malgré la ressemblance des cristaux naturels avec les

1. Leonhard, *Hütten-erzeug.*, p.343.
2. Nöggerath. *Schweigg. J. Ch.*, t. XLIV, p. 252, 1825.
3. Durocher *C. r.*, t. XXXII, 1851, p. 823.

cristaux beaucoup plus beaux obtenus artificiellement par fusion, il est évident que la production du bismuth naturel cristallisé s'est opérée autrement; elle s'est effectuée certainement par réduction au sein de l'eau.

ARGENT.

1851. Sénarmont. — **1851.** Durocher. — **1874.** Becquerel. **1877.** Margottet.

L'argent se montre fréquemment à l'état cristallisé dans les cavités des culots provenant de l'opération de la coupellation. D'après **Hausmann**[1], il s'y observerait constamment sous forme d'octaèdres réguliers, mais on a constaté plusieurs fois qu'il s'y rencontrait aussi en cubes et en dodécaèdres rhomboïdaux. Les faces de l'octaèdre sont toujours dominantes; elles sont fréquemment creusées de dépressions en trémies. On a aussi observé des macles avec une des faces de l'octaèdre pour plan d'accouplement.

Dans l'usine de Schmölnitz [2] on a vu des cristaux d'argent de 2 millimètres de diamètre, produits par volatilisation de l'amalgame de ce métal.

D'après **Haidinger**[3], quand on fond au chalumeau une petite quantité d'argent, on obtient après refroidissement un bouton entièrement cristallin, sur lequel on peut reconnaître les faces du cube, de l'octaèdre et du dodécaèdre rhomboïdal, comme s'il s'était formé un cristal uni-

1. Hausmann, *Abh. d. k. Ges. d. Wiss. zu Göttingen.*, t. IV, p. 224. — *Beit. zur met. kryst. Kunde*, p. 4.
2. Fuchs, *Die kunst. dar. Min.*, p. 15. — *Jahr. k. k. geol. Reich.*, 1850 p. 150. — *Jahrb. f. Min.*, 1853, p. 703.
3. Fuchs, *Die kunst. dar. Min.*, p. 15.

que. Les faces du cube sont indiquées par des stries à angle droit, celles du dodécaèdre rhomboïdal par des stries parallèles, celles de l'octaèdre, qui sont très brillantes, par des stries qui s'entre-croisent sous des angles de 60°. L'angle des faces de l'octaèdre peut être mesuré au goniomètre.

La reproduction de l'argent filiforme a aussi été observée dans l'industrie. **Scheerer**[1] en cite un exemple remarquable, constaté dans les fours à réverbère de Freiberg. Les plus beaux échantillons de cette variété d'argent avaient été trouvés dans une fente située dans la sole du four.

Dans les laboratoires on a obtenu la cristallisation de l'argent par voie humide, à l'aide de procédés variés. On a notamment dans ce but décomposé les dissolutions des sels d'argent par l'électricité, par un métal plus oxydable, par des sels réducteurs, par des matières organiques. Les précipités gris ou noirs, que l'on obtient généralement par ces diverses réactions, sont cristallins. Quand on les examine au microscope, on reconnaît que ces dépôts pulvérulents sont composés d'octaèdres réguliers, isolés ou disposés en groupes radiés à six branches; quelquefois on observe des dodécaèdres rhomboïdaux ou même des scalénoèdres [2].

La transformation spontanée de l'argent compact en cristallisé a été signalée par **Warrington**[3]. Le fait en question a été observé sur un vase découvert en Angleterre, près de Stratford, lequel avait été longtemps enfoui dans le sol. Warrington a constaté que la surface inégale et rugueuse de ce vase était hérissée d'une multitude de petits cubes, visibles seulement à la loupe.

1. Scheerer, *Hütten-erzeug.*, p. 368.
2. Dauber, *Ann. Ch. Pharm.*, t. LXXXV, p. 253.
3. Warrington, *Lond. Edinb. Phi. Mag.*, t. XXIV, p. 503. — *N. J. f. Min*, 1845, p. 117.

Sénarmont[1] a fait voir que la réduction des dissolutions de sels d'argent par les matières organiques était rendue plus rapide, quand l'opération se faisait en vase clos à 150°. L'argent ainsi réduit est en filaments ou en pellicules cristallines.

Durocher[2] a obtenu l'argent cristallisé en réduisant le chlorure par l'hydrogène à haute température.

Becquerel[3] a montré qu'une dissolution d'un sel d'argent, mise en communication capillaire avec une dissolution de sulfure de potassium, donnait naissance à un précipité métallique. Les affinités chimiques ne suffisant pas pour expliquer cette réaction, Becquerel admet l'intervention de courants électriques faibles. Il fait remarquer encore que la même réduction s'opère quand on remplace le sulfure de potassium par la potasse, mais qu'elle est très lente, ce qui tient, dit-il, à la faiblesse des forces électromotrices développées dans ce cas.

Un procédé de reproduction de l'argent filiforme, très remarquable par la beauté du produit qu'il fournit, et par les circonstances qui accompagnent sa mise en œuvre, est celui qu'on doit à **M. Margottet**[4]. Il consiste dans la réduction du sulfure d'argent à une température de 440°, température bien inférieure à celle de la fusion de ce composé. « L'argent métallique se présente, au début de « l'opération, sous forme de petites aigrettes implantées « à la surface des cristaux de sulfure; la réduction con- « tinuant, les aigrettes deviennent des fils qui s'allongent « et grossissent, par un mécanisme encore inexpliqué, « aux dépens de l'argent sans cesse mis en liberté par « l'hydrogène; au bout de quelque temps, ils présentent « l'aspect de rubans contournés en spirale, entremêlés

1. Sénarmont, *Ann. de ph. et ch.*, t. XXXII, 1851, p. 129.
2. Durocher, *C. r.*, t. XXXII, 1851, p. 823.
3. Becquerel, *C. r.*, t. LXXVIII, 1874, p. 1081.
4. Margottet, *C. r.*, t. LXXXV, 1877, p. 1142.

« de petits fils ressemblant à des cheveux d'une extrême « finesse, le tout supporté par des cristaux de sulfure « ayant conservé leur forme primitive. Ce phénomène « rappelle assez bien la formation des serpents de Pha- « raon, par la combustion du sulfocyanure de mer- « cure. »

Application à la géologie. — L'argent natif est un minéral de dépôts concrétionnés. L'expérience de Sénarmont et de Becquerel indiquent des moyens que la nature a pu suivre pour arriver à sa production, mais l'identité remarquable du produit obtenu par M. Margottet avec l'argent filiforme semble prouver que ce savant a trouvé réellement le procédé mis en œuvre par la nature.

ARGENT AMALGAMÉ.

Le mercure, en s'alliant à la plupart des métaux, est susceptible de former avec eux des combinaisons cristallines. L'un de ces alliages, celui d'argent, se trouvant dans la nature, est surtout digne d'intérêt.

Ce composé peut être reproduit artificiellement, en soumettant à froid l'argent à l'action du mercure. La réaction est lente; l'argent devient cassant et cristallin; dans des cas exceptionnels seulement, les cristaux d'argent amalgamé ainsi produits acquièrent des formes nettes et des dimensions notables.

M. Dumas a signalé[1] un exemple remarquable d'une cristallisation de ce genre. A la monnaie de Bordeaux, on avait, en 1832, traité par le mercure les résidus de la refonte des pièces de six francs. Il y a quelques années, le

[1] J. Dumas, *C. r.*, t. LXIX, 1869, p. 757.

bain résultant de ce traitement, ayant été filtré à la peau de chamois, a laissé de beaux cristaux composés de 27,4 d'argent et de 72,6 de mercure et différant par conséquent de l'argent amalgamé naturel qui contient 36 pour 100 d'argent et 64 de mercure.

Des cristaux analogues ont été trouvés par **Kopecki**[1] au fond d'une cuve d'amalgamation à Joachimsthal. C'étaient des dodécaèdres rhomboïdaux très allongés. Leur dureté et leurs autres propriétés physiques étaient celles de l'argent amalgamé naturel, leur composition ne paraît pas avoir été déterminée, ce qui s'explique aisément par la difficulté de nettoyer ces cristaux du mercure ambiant.

Parmi les amalgames d'argent, le plus remarquable, au point de vue de la cristallisation, est celui qui forme ce qu'on appelle l'arbre de Diane. Il résulte de l'action lente exercée par un amalgame d'argent sur un mélange de deux dissolutions de nitrate d'argent et de nitrate de mercure.

OR.

1863. Knoffl. — **1877.** Margottet.

L'or, fondu et lentement refroidi, se couvre de facettes cristallines. On peut souvent y reconnaître les formes du cube et de l'octaèdre régulier. Les faces sont généralement rugueuses et déprimées, les arêtes courbes.

L'or, précipité de ses dissolutions par des agents réducteurs, se présente en lamelles brillantes ou en poudre

1. Kopecki, *Mittheil. v. Freunden d. Nat. Wiss. in Wien.*, t. IV, 808. — *J. f. Min.*, 1849, p. 317.

cristalline. M. **Knoffl**[1] l'a obtenu en cristaux volumineux, en chauffant, pendant huit jours à 80°, un amalgame d'or composé d'une partie d'or et de 20 parties de mercure, et traitant ensuite cet amalgame par l'acide nitrique qui dissout le mercure en excès. Il reste de beaux cristaux d'or que l'on achève de débarrasser du mercure par une calcination modérée.

M. **Margottet**[2] a produit l'or filiforme en décomposant, par l'hydrogène, le tellurure d'or ou des tellurures doubles d'or et d'argent, au rouge vif. L'action de vapeurs de tellure en présence de l'hydrogène, à diverses températures, sur l'or métallique, amène d'abord la production d'un tellurure et ensuite le déplacement du métal avec l'apparence filiforme.

PLATINE.

Quand on soumet le platine à une température voisine de celle de sa fusion et qu'on maintient cette température constante pendant plusieurs jours, on trouve au bout de ce temps que la structure du métal a complètement changé. Il est devenu cassant, rugueux, et à la loupe on reconnaît qu'il est entièrement cristallin; on peut y distinguer les formes de l'octaèdre et du tétraèdre réguliers.

Le même phénomène se manifeste[3] quand on chauffe longtemps le platine à une température modérée dans une dissolution acide, insuffisante pour l'attaquer complètement.

Dans l'une de ses expériences sur la reproduction des silico-titanates, **Ebelmen**[4] a obtenu accidentellement de

1. Knoffl, *Dingl. pol. j.*, t. CLXVIII, p. 282. — *Ch. cent.* 1863, p. 711.
2. Margottet, *C. r.*, t. LXXXV, 1877, p. 1142, et thèse.
3. Phipson, *Ch. News*, t. V, p. 144.
4. Ebelmen, *C. r.*, t. XXXII, p. 712.

beaux cristaux de platine, ayant les uns simplement la forme de l'octaèdre régulier, les autres celle du cube et de l'octaèdre combinés.

Le platine, séparé de ses dissolutions salines à l'aide d'agents réducteurs, se sépare à l'état d'une poudre grise cristalline. Il affecte la même apparence, quand il provient d'un alliage de platine et d'un autre métal, soumis à l'action d'un acide qui dissout le métal allié.

ALLIAGES DE PLATINE ET DE FER.

M. Daubrée[1] a obtenu, par la simple fusion, divers alliages de platine et de fer, qui se sont montrés magnétipolaires, lorsqu'ils contiennent de 16 à 21 pour 100 de fer.

MM. Henri Sainte-Claire Deville et **Debray**[2] ont produit par fusion un alliage cristallisé de platine et de fer, contenant 11 pour 100 de fer, et non magnétique.

1. Daubrée, *Géologie expérim.*, p. 124.
2. Henri Sainte-Claire Deville et Debray, *C. r.*, t. LIV, 1862, p. 1139.

XXIII

PROTOXYDES ET BIOXYDES MÉTALLIQUES OXYDES HYDRATÉS

CUPRITE (Cu^2O).

Ce composé a été fréquemment observé à l'état de cristaux, dans les scories ou sur les parois des fourneaux à cuivre (Muldene-hütte, Antonshütte[1] en Saxe; usines du Mansfeld). D'après **Hausmann**, les cristaux rencontrés dans ces conditions se présenteraient seulement en cubes; cependant ils se montrent aussi quelquefois en octaèdres[2].

Von Leonhard[3] a décrit des cristaux de protoxyde de cuivre, formés par oxydation d'objets en cuivre, dans le grand incendie de Hambourg.

Les échantillons de ces provenances diverses possèdent la couleur rouge brun, les clivages, le poids spécifique du minéral naturel. Ils ne s'en distinguent guère que par la fréquence plus grande de dépressions en trémie sur leurs faces.

Du cuivre métallique peut aussi, sous l'influence de l'air et de l'humidité, se transformer après un long temps en protoxyde de cuivre cristallisé. Le fait a été observé plu-

1. Kersten, *J. f. pr. Ch.*, t. XIX, p. 118. — *Jahrb. f. Min.*, 1841, p. 116.
2. Hausmann, *Beiträge*, p. 17.
3. Von Leonhard, *Hütten-erzeugnisse*, p. 365.

sieurs fois sur des objets de cuivre ou de bronze, demeurés longtemps enfouis dans le sol (vase de Wichelshof observé par **Nöggerath**[1]; statue trouvée dans la Saône en 1766, étudiée par **Soge**[2]; pied de cheval en bronze trouvé à Lyon en 1771, examiné par **Demeste**[3]).

M. Daubrée[4] a signalé la présence de la cuprite en octaèdres rouges à la surface d'objets en bronze, trouvés dans les substructions des thermes de Bourbonne-les-Bains.

L'oxydule de cuivre cristallisé a été obtenu dans les laboratoires par les procédés les plus divers, appartenant les uns à la voie sèche, les autres à la voie humide. Parmi les procédés se rattachant à la voie sèche, nous signalerons la calcination au rouge blanc, à l'air libre, d'un peleton de fil de cuivre. Le globule, qui se forme ainsi, est maintenu pendant quelque temps à la température du rouge sombre; il se solidifie dans ces conditions, en s'enveloppant d'une croûte, noire à sa surface, mais constituée intérieurement par des petits cristaux rouges d'oxydule.

La fusion d'un mélange de sulfate de fer et de limaille de cuivre dans un creuset fermé fournit aussi un culot cristallin d'oxydule; mais le meilleur procédé pour obtenir par voie sèche ce corps à l'état de cristaux distincts et isolés, consiste à fondre un mélange de sulfate de fer, de carbonate de soude et de limaille de cuivre. Après lessivage du culot qui se forme, il reste une poudre rouge, composée de petits cristaux ayant la composition et possédant les propriétés physiques de l'oxydule naturel.

Parmi les réactions employées pour obtenir l'oxydule de cuivre cristallisé par voie humide, nous citerons : la

1. Nöggerath, *Schweigger. Jahr. Ch. Ph.*, t. XLIII, p. 129.
2. Soge, *Obs. phy. de Rozier*, 1779.
3. Demeste, *Buffon, Histoire nat. des minéraux*, t. III, p. 56.
4. Daubrée, *Géologie expérim.*, p. 75.

décomposition du sulfate de cuivre par une dissolution alcaline de glucose (**Mitscherlich**), celle du formiate de cuivre par l'eau à 175° (**Riban**).

On obtient encore de beaux cristaux cubiques, rouges, transparents d'oxydule, en plongeant une baguette de fer dans une dissolution de nitrate de cuivre, surmontée d'une couche d'eau. Dans ce cas, il est évident qu'il y a intervention d'actions électriques.

Becquerel[1] a fait cristalliser l'oxydule de cuivre en beaux octaèdres réguliers, en soumettant à un chauffage prolongé à une température de 100 à 150 degrés un tube vertical contenant au fond un peu d'oxyde de cuivre, et, par-dessus, une lame de cuivre plongée dans une dissolution de nitrate de cuivre.

Application à la géologie. — La cuprite est un minéral de filon. Les expériences par voie humide, signalées ci-dessus, indiquent à peu près les conditions qui ont dû présider dans la nature à sa cristallisation.

PÉRICLASE (MgO).

1851. Ebelmen. — **1854.** Daubrée. — **1859.** Dumas. — **1861.** Debray. — **1861.** Henri Sainte-Claire Deville. — **1881.** Dufont et Ferrières.

Ebelmen[2], par l'application de sa méthode, a pu faire cristalliser la magnésie avec la forme cubique et les clivages normaux de la périclase naturelle. Il chauffait au rouge blanc, dans un four à porcelaine, un mélange de

1. Becquerel, *C. r.*, t. XLIV. — *L'Inst.*, 1857, p. 159. — *Ch. cent.*, 1857, p. 586.
2. Ebelmen, *C. r.*, t. XXXIII, 1851, p. 525. — *Ann. de ph. et ch.*, t. XXXIII, p. 34.

chaux et de borate de magnésie. La magnésie, déplacée par la chaux à la température de l'expérience, cristallisait dans le mélange fondu. Les cristaux, ainsi formés, sont transparents, à éclat vitreux. Leur poids spécifique est égal à 3,636.

D'après M. **Daubrée**[1], la chaux décompose aussi, au rouge, le chlorure de magnésium, et il se produit des cristaux de périclase.

Quand on fond le chlorure de magnésium, ce corps subit une décomposition partielle. M. **Dumas**[2] a montré que dans ces conditions il se forme de la magnésie caustique, qui cristallise dans le chlorure fondu en lamelles transparentes, semblables à la périclase naturelle, « absolument, dit le savant expérimentateur, comme le sesquioxyde de fer cristallise dans le sel marin. En ce point « la magnésie diffère essentiellement de la chaux. »

La périclase se forme encore quand on fond au rouge vif, dans un creuset de platine, un mélange de sulfate de magnésie et de sulfate de potasse. Ce procédé, imaginé par M. **Debray**[3], a été généralisé par lui et employé à la reproduction d'autres oxydes cristallisés.

Henri Sainte-Claire Deville[4] a obtenu une petite quantité de périclase, comme produit accessoire, dans l'expérience qu'il a effectuée pour la reproduction de la martite. Mais il a montré en outre que cette substance s'obtient en plus grande quantité et plus facilement, quand on fait passer au rouge un courant lent d'acide chlorhydrique sur la magnésie calcinée. Les cristaux qui se forment ainsi sont des octaèdres réguliers. L'acide nitrique ne les attaque qu'avec lenteur.

Le chlorure de magnésium soumis à l'action de la va-

1. Daubrée, *C. r.*, t. XXXIX, 1854, p. 135.
2. Dumas, *Ann. de ph. et ch.*, 3, t. LV, 1859, p. 189.
3. Debray, *C. r.*, t. LII, 1861, p. 985.
4. Henri Sainte-Claire Deville, *C. r.*, t. LIII, 1861, p. 161.

peur d'eau à haute température fournit encore le même corps, mais c'est évidemment la même réaction qui lui donne naissance, puisque, dans ces conditions, le chlorure de magnésium et la vapeur d'eau se décomposent mutuellement en produisant de l'acide chlorhydrique et de la magnésie caustique.

MM. Dupont et **Ferrières**[1] ont obtenu la périclase par l'action de la vapeur d'eau sur le chlorure de magnésium au rouge. Elle constitue des octaèdres et des cubo-octaèdres incolores.

Le procédé, identique à celui de M. Deville, a donné, grâce au dispositif employé, des cristaux plus développés. Il consiste à amener au contact le chlorure et la vapeur d'eau dans un creuset de porcelaine, porté au rouge vif, au centre duquel une capsule de porcelaine soutenue sur des fragments de même nature sert de support au produit cristallin recherché.

Application à la géologie. — La périclase est un minéral que l'on rencontre dans les fumerolles volcaniques. La décomposition au rouge du chlorure de magnésium, par l'eau ou par la chaux rend compte de son gisement naturel.

1. Dupont et Ferrières, labor. de M. Frémy, 1881.

ZINCITE (Zn O).

1849. Daubrée. — **1857.** Becquerel. — **1861.** Regnault. — **1881.** Dupont-Ferrières.

La poudre blanche provenant de la combustion du zinc offre souvent des indices évidents de cristallinité, et dans des cas nombreux elle a fourni des cristaux assez volumineux pour qu'on ait pu étudier leur forme et leurs autres propriétés physiques. La forme cristalline de l'oxyde de zinc a même été déterminée sur des échantillons provenant de reproductions artificielles, longtemps avant que l'on n'eût découvert des échantillons naturels susceptibles de mesures goniométriques. Les cristaux artificiels appartiennent au système hexagonal comme les cristaux naturels, mais ils présentent en général un plus grand nombre de facettes de modification. On y distingue les faces du prisme hexagonal, du rhomboèdre primitif et d'une série de rhomboèdres aigus.

L'oxyde de zinc cristallisé a été recueilli dans les fonderies et les raffineries de zinc, dans les usines où l'on traite des minerais de fer, de cuivre ou de plomb zincifères. En général, on le trouve dans les crevasses de la partie supérieure des fourneaux.

M. Daubrée[1] a obtenu l'oxyde de zinc cristallisé en décomposant le chlorure de zinc par la chaux, dans un tube chauffé au rouge.

Becquerel[2], fondant dans un creuset d'argent un mélange de potasse et d'oxyde de zinc pulvérulent, a trans-

1. Daubrée, *B. Soc. géo.*, t. VII, 1849, p. 267. — *C. r.*, t. XXIX, 1849, p. 227.
2. Becquerel, *Ann. de ch. et ph.*, t. LI, 1857, p. 105.

formé ce dernier en longues aiguilles cristallines jaunâtres.

Regnault[1] l'a reproduit artificiellement en décomposant, à haute température, la vapeur d'eau par le zinc. Les cristaux, qui se produisent ainsi, sont identiques à ceux que fournit la combustion du zinc.

MM. Dupont et Ferrières[2], par l'action de la vapeur d'eau sur le chlorure de zinc au rouge, ont obtenu des prismes hexagonaux transparents, d'un jaune verdâtre, avec une couronne de modifications autour de la base.

Application à la géologie. — Les procédés mis en œuvre pour la reproduction de ce minéral, action de la vapeur d'eau ou de la chaux caustique sur le chlorure de zinc à haute température, expliquent la présence de la zincite dans des calcaires cristallins, en association avec la franklinite, la willémite, le fer oligiste. La zincite se trouve aussi dans les schistes chloriteux de Fahlun, et dans les minerais de fer de Sparta (New-Jersey). La présence de ce minéral dans les roches métamorphiques montre donc l'influence que les vapeurs chlorurées ont pu avoir dans la formation de ces roches.

BUNSENITE (NiO).

1851. Ebelmen. — **1860.** Debray. — **1881.** Dupont et Ferrières.

L'oxyde de nickel cristallisé a été reproduit par **Ebelmen**[3] au moyen de sa méthode habituelle, en fondant

1. Regnault, *Ann. de ph. et ch.*, t. LXII, p. 350, 1861.
2. Dupont et Ferrières, laboratoire de M. Frémy, 1881.
3. Ebelmen, *C. r.*, t. XXXIII, 1851, p. 525.

l'oxyde amorphe dans le borax. Les cristaux obtenus sont des cubo-octaèdres verts, à peu près inattaquables dans l'acide chlorhydrique. Leur densité a été trouvée de 6,80.

M. **Debray**[1] a obtenu la bunsénite en calcinant fortement le sulfate double de nickel et de potasse.

MM. **Dupont et Ferrières**[2] ont employé, pour obtenir ce minéral, l'action de la vapeur d'eau au rouge sur le chlorure de nickel ; les cristaux obtenus sont d'un vert-pistache foncé, transparents; ils sont octaédriques et cubiques.

Application à la géologie. — La bunsénite est un produit filonien secondaire. L'expérience de MM. Dupont et Ferrières peut expliquer son mode de formation dans quelques-uns de ses gisements.

MASSICOT (Pb O).

L'oxyde de plomb possède une grande tendance à la cristallisation. Dans l'industrie, quand on le fond en grande quantité, il donne après refroidissement une masse cristalline et quelquefois même des cristaux distincts. On a longtemps cru que ces cristaux étaient des dodécaèdres rhomboïdaux à facettes courbes[3], mais **Mitscherlich**, s'étant livré à une étude attentive de leur forme, a reconnu qu'ils appartenaient au système orthorhombique.

On peut les obtenir par voie sèche ou par voie humide. Quand on fond la céruse au chalumeau sur un support

1. Debray, *C. r.*, t. LII, 1860, p. 985.
2. Dupont et Ferrières, labor. de M. Frémy, 1881.
3. Gauthier de Claubry et Beudant, *Ann. de ph. et ch.*, t. XXXIII, p. 43.

non réducteur, il se forme un globule qui, au moment du refroidissement, prend des formes anguleuses et se couvre d'aspérités ayant l'apparence qu'offriraient des sommets de pyramides triangulaires.

La cristallisation de l'oxyde de plomb s'effectue encore quand on fond ce corps avec un excès de potasse. **Becquerel**[1] a montré qu'après lessivage du culot il se produit un résidu pulvérulent composé de lamelles rectangulaires brillantes, constituées par cet oxyde cristallisé.

Houton Labillardière[2] a reconnu qu'en dissolvant l'oxyde de plomb dans la soude caustique et abandonnant la dissolution pendant quelques mois à l'action de l'air, l'oxyde se montrait en cristaux blancs et demi-transparents, très voisins par leur forme du dodécaèdre rhomboïdal régulier.

Payen[3] a obtenu les mêmes cristaux en décomposant lentement une dissolution étendue d'acétate de plomb par l'ammoniaque en excès. **Tünneman**[4] a montré que l'influence des rayons solaires facilitait la cristallisation.

Quand on abandonne au contact de l'air un vase de plomb contenant de l'eau, il se forme au bout de quelque temps un dépôt floconneux d'hydrate d'oxyde de plomb, mélangé de quelques cristaux de cet oxyde anhydre.

1. Becquerel, *Ann. de ph. et ch.*, t. LI, p. 105.
2. Houton-Labillardière, *J. ph.*, t. III, p. 335.
3. Payen, *Ann. de ph. et ch.*, t. LXVI, p. 51. — *J. f. pr. Ch.*, t. XIII, p. 485.
4. *Karsten's Arch.*, t. XIX, p. 339.

TÉNORITE (Cu O).

1857. Becquerel

Hänle[1] a présenté, en 1838, à la Société des naturalistes de Fribourg un échantillon d'oxyde de cuivre cristallisé, trouvé dans un four à chaux où un morceau de cuivre empâté dans de l'argile avait été, durant plusieurs jours, porté à une haute température.

On doit à **Jensch**[2] la description d'un autre échantillon, provenant des parois d'un four de grillage de pyrite cuivreuse, recueilli dans l'usine de Mülden. Les cristaux en question sont orthorhombiques comme la ténorite naturelle, dont ils diffèrent par la constance de la macle suivant les faces du prisme.

La reproduction artificielle de la ténorite a été réalisée par **Becquerel**[3] en fondant un mélange de potasse et d'oxyde de cuivre noir, amorphe, et en lessivant ensuite le culot formé après refroidissement. On obtient ainsi une poudre cristalline brillante, dont les éléments sont d'autant plus gros que le refroidissement a été plus lent.

1. Hänle, *Natur f. Vers. Freiburg.*, 1838.
2. Jensch, *Pogg. Ann*, t. CVII, p. 647. — *Jahresb.*, 1859, p. 213.
3. Becquerel, *Ann. de ph. et ch.*, t. LI, 1857, p. 122.

PYROLUSITE ($Mn\,O^2$).

1879. A. Gorgeu.

M. Gorgeu[1] a reproduit la polianite, variété de pyrolusite, en décomposant par la chaleur l'azotate de manganèse cristallisé. Ce produit fond d'abord, puis, au-dessus de 155 degrés, il se décompose, laisse échapper de l'acide azotique hydraté et de l'acide hypoazotique; il se dépose alors du bioxyde de manganèse.

« Pour l'obtenir nettement cristallisé, il faut opérer « dans une fiole de verre aux deux tiers remplie par « l'azotate fondu, c'est-à-dire dans des conditions telles « que les produits, qui se condensent, retardent la dé- « composition du sel. » On évapore vivement jusqu'à production de vapeurs rutilantes épaisses; on décante le liquide pour le séparer de la petite quantité de suroxyde formé, et on continue la décomposition de l'azotate décanté, très lentement, en le maintenant au moins vingt-quatre heures à 160 degrés environ.

Le produit obtenu a la composition du bioxyde de manganèse; sa densité 5,08 et sa dureté 6,5 sont celles de la pyrolusite; il laisse une trace noire sur la porcelaine dégourdie; enfin ses petits cristaux prismatiques paraissent analogues à ceux de la polianite.

1. Gorgeu, *Bull. Soc. min.*, 1879, p. 122.

CASSITÉRITE.

1849. Daubrée. — **1858.** Henri Sainte-Claire Deville et Caron. — **1861.** Henri Sainte-Claire Deville.

La reproduction accidentelle de la cassitérite a été plusieurs fois observée dans des fonderies de bronze, par exemple, à Dresde par **Törmer** [1], à Woolwich par **Abel** [2].

Klapproth [3] a constaté qu'un creuset, dans lequel il avait fondu du minerai d'étain, était, après décantation, tapissé intérieurement de cristaux d'acide stannique, identiques de forme à la cassitérite.

C'est à **M. Daubrée** [4] qu'on doit la première reproduction artificielle de ce minéral. Il l'a opérée en amenant, dans un tube de porcelaine chauffé au rouge, la rencontre de la vapeur d'eau et de la vapeur de bichlorure d'étain. Une double décomposition s'effectue et le tube se couvre de cristaux brillants qui ont la forme, la couleur brune et la composition de la cassitérite.

Un produit semblable s'obtient quand on décompose le bichlorure d'étain par la chaux.

Dans une expérience faite en collaboration par **Henri Sainte-Claire Deville** et **Caron** [5], la reproduction de la cassitérite a été effectuée en décomposant, au rouge, le fluorure d'étain par la vapeur d'eau.

Henri Sainte-Claire Deville [6] a fait cristalliser l'acide

1. Törmer. *J. pr. Ch.*, t. XXXVII, p. 380.
2. Abel, *J. of Roy. ch. Soc.*, t. X, p. 119, — *Jahr. f. Min.*, 1859, p. 815.
3. Klapproth, *Beiträge*, t. II, p. 249.
4. Daubrée, *C. r.*, t, XXIX, p. 227. — *L'Inst.*, t. XVIII, p. 115. — *Ann. des mines*, t. XVI, p. 129. — *B. de la Soc. géol.*, t. VII, p. 367. — *Jahrb. f. Min.*, 1849, p. 712.
5. Henri Sainte-Claire Deville et Caron, *C. r.*, t. XLVI, 1858, p. 764.
6. Henri Sainte-Claire Deville, *C. r.*, t. LIII, p. 161. — *L'Inst.*, 1861, p. 249. — *Jahrb. f. Min.*, 1862, p. 79.

stannique sous la forme de la cassitérite, en faisant passer, à haute température, un courant lent d'acide chlorhydrique sur ce produit obtenu par précipitation. Les cristaux, qui se forment, sont des octaèdres à base carrée, présentant les angles du pointement ordinaire de la cassitérite naturelle.

En rendant le courant d'acide chlorhydrique plus rapide, Deville a constaté un transport manifeste des éléments du réactif stannifère employé. Le chlorure d'étain et la vapeur d'eau, qui se produisent, ne se décomposent que vers l'extrémité du tube. Les cristaux, qui résultent de l'opération, sont plus développés que ceux de l'expérience précédente. De plus, en outre des faces de l'octaèdre, ils possèdent celles du prisme.

Enfin, reprenant les expériences de M. Daubrée, **H. Sainte-Claire Deville** a reconnu que les cristaux formés au rouge sombre par la décomposition du bichlorure d'étain au moyen de la vapeur d'eau, offraient la forme normale de la cassitérite naturelle. Dans ces cristaux, les faces de l'octaèdre et celles du prisme à base carrée sont également distinctes et très miroitantes. L'angle des faces de l'octaèdre a été mesuré et trouvé de 87°10′ comme dans le minéral naturel, et l'on observe la macle si caractéristique de la cassitérite.

Dans aucune de ces expériences, Deville n'a vu l'acide stannique cristalliser sous une forme prismatique ayant quelque ressemblance avec la brookite; c'est pourquoi il met en doute la production artificielle d'un dimorphisme de l'acide stannique analogue à celui qui appartient à l'acide titanique.

Application à la géologie. — La cassitérite est un minéral filonien. L'action minéralisatrice de l'acide chlorhydrique ou de l'acide fluorhydrique sur l'acide stannique explique son gisement dans la nature. La décomposition

du chlorure et du fluorure d'étain par la vapeur d'eau à haute température paraît avoir été un phénomène constant dans les filons stannifères.

URANOCRE ($U^2O^3 + 3HO$).

Ebelmen a préparé ce corps en exposant, à l'action solaire prolongée, une dissolution d'oxalate d'urane.

M. Riban l'a également obtenu cristallisé, en décomposant à 175° une dissolution de formiate d'urane. L'uranocre ainsi produit est d'un jaune verdâtre, transparent. Il se présente en prismes hexagonaux souvent aplatis. Les couleurs de polarisation sont vives ; les extinctions sont celles qui conviennent au système hexagonal.

Application à la géologie. — Ce composé, bien que reproduit artificiellement par des procédés que la nature n'a pas mis en œuvre, est intéressant parce qu'il a permis de fixer la composition chimique et la forme cristalline d'un minéral que l'on ne rencontre dans la nature qu'à l'état de dépôt pulvérulent.

SUPPLÉMENT

Péridot et gahnite accidentels. — M. **Stelzner**[1] signale une association accidentelle de fayalite et de gahnite dans les scories provenant du traitement des minerais de plomb aux usines de Freiberg.

Mélilite manganésifère. — M. **Bourgeois**[2] vient de reproduire, par fusion simple, une mélilite manganésifère de la formule suivante :

$$(9\,Ca\,O,\ 2\,Mn\,O,\ Na\,O),\ 2\,Al^2\,O^3,\ 9\,Si\,O^2.$$

Elle se présente sous forme de prismes raccourcis à base carrée, sensiblement polychroïques dans les teintes violettes. L'axe optique unique est négatif.

Calcite, strontianite, withérite. — En chauffant des précipités de ces différents carbonates dans un mélange fondu de chlorure de sodium et de potassium, à équivalents égaux, M. **Bourgeois**[3] a obtenu des cristaux déterminables.

1. Stelzner, *Neues Jahrb.*, 1882, p. 170.
2. Bourgeois, expérience inédite.
3. Bourgeois, *C. r.*, 1882, p. 991.

La calcite se présente en groupements hexagonaux, uniaxes, négatifs. La strontianite forme des prismes allongés suivant h^1 g^1, avec un pointement e^1. La withérite se montre soit sous une forme analogue à celle de la strontianite, soit en lamelles hexagonales, aplaties suivant p, et circonscrites suivant m et g^1. On y distingue alors deux axes optiques très rapprochés, avec bissectrice négative perpendiculaire à la base. Il y a en outre de nombreuses hémitropies suivant m.

Céruse. — M. **Riban**[1] a obtenu la céruse en décomposant, en tube clos, à 250°, le formiate de plomb.

Hausmannite. — M. **Nordenskiöld**[2] a obtenu la hausmannite par recuit du sesquioxyde anhydre (Mn^3O^4) dans le borax.

Pyrite. — La pyrite a été obtenue en jolis cristaux cubiques par **Henri Sainte-Claire Deville**[3], en fondant un mélange de protosulfure de fer et de sulfure de potassium avec un excès de soufre.

Brochantite. — M. **Friedel**[4] a obtenu la brochantite en chauffant, à 250°, en tube clos, une dissolution de sulfate de cuivre.

M. **Stanislas Meunier**[5] annonce avoir obtenu le même corps en petites rosettes cristallines vert-émeraude, en laissant plonger pendant onze mois des fragments de galène dans une dissolution moyennement concentrée de sulfate de cuivre.

1. Riban, *C. r.*, 1881.
2. Nordenskjöld, *Pogg. Ann.*, t. CXIV, 1863, p. 223.
3. Henri Sainte-Claire Deville, dans le *Dictionnaire de M. Wurtz*, article fer.
4. Friedel, *Bull. Soc. chimique*, 1860.
5. Stanislas Meunier, *C. r.*, t. LXXXVI, 1878, p. 686.

Crocoïse. — Ce corps a été reproduit par Manross [1] en fondant un mélange à équivalents égaux de chromate de potasse et de chlorure de plomb.

1. Manross, *Ann. Ch. Pharm.* t. LXXXII, p. 348.

ERRATA

Page 8 : note 1, 4e ligne, au lieu de *Schmelz fuss* lire Schmelz fluss.
Page 12 : 24e ligne, *Darsonval*, D'Arsonval.
Page 20 : 2e ligne, *pyroxène*, péridot.
Page 96 : Dernière ligne, *set*, est.
Page 102 : 6e ligne, *Stollberg*, Stolberg.
Page 110 : 7e ligne, *essenteillement*, essentiellement.
Page 113 : Note 1, 2e ligne, *Gurtl*, Gurlt.
Page 129 : titre courant, *feldsphat*, feldspath.
Page 180 : 1re ligne, *iormes*, formes.
Page 197 : 6e ligne, *Jacquelin*, Jacquelain.
Page 198 : 2e ligne, *Kannay*, Hannay.
Page 285 : 29e ligne, *Hope-Seyler*, Hoppe-Seyler.
Page 285 : 5e ligne, *l'oxyde d'antimoine composé*, l'oxyde d'antimoine.
Page 305 : 5e ligne, *procelaine*, porcelaine.
Page 314 : 23e ligne, *Stass*, Stas.
Page 379 : 15e ligne, *peleton*, peloton.

Dans plusieurs de nos publications, nous avons eu occasion de parler d'une météorite tombée en Serbie, que nous avons décrite sous le nom de météorite de Kragujevatz. Cette météorite provient, non pas de Kragujevatz, mais de Soko-Banya, près d'Alexinac. Elle nous a été procurée par M. Zujovic, professeur à l'université de Belgrade.

COLLECTION DE PRODUITS ARTIFICIELS

DU LABORATOIRE DE GÉOLOGIE

DU COLLÈGE DE FRANCE

MINÉRAUX ARTIFICIELS REPRODUITS PAR MM.

Baubigny. . . . . *Blende.*
Millérite.
Protosulfure de fer.

Bourgeois . . . . . *Apatite* (procédé Forschhammer).
Barytine (procédé Manross).
Calcite.
Gehlénite purement calcique.
Meïonite avec chaux et soude.
Mélilite purement calcique.
— calcique et magnésienne.
— calcique et ferrifère.
— calcique et manganésifère.
— magnésienne.
Rhodonite.
Strontianite.
Téphroïte.
Withérite.
Wollastonite purement calcique.
— purement strontianique.

Daubrée . . . . . *Diopside*
Tubes à *sphérolithes et cristaux de quartz.*

Debray. . . . . *Argyrose.*
Arséniate de chaux $2CaO, HO, AsO^5 + 3HO$
— — $2CaO, 3HO. AsO^5$.
Arséniate de cuivre $2CuO, AsO^5, + 3HO$.
— — $3CuO, AsO^5 + 4HO$.
— — (*Olivénite*) $4CuO, HO, AsO^5$
Azurite.
Blende octaédrique.
Chloro-arséniate de chaux.
Phosphate de chaux $2CaO, HO, PhO^5$.
— *de cobalt* $2CoO, HO, PhO^5 + 3HO$.
Phosphate de cobalt $3CoO, PhO^5 + 3HO$.
— *de cuivre* (libéthénite)
$4CuO, PhO^5 + HO$.
— *de cuivre et soude*
$3CuO, PhO^5 + 2NaO, HO, PhO^5 + Aq$.
— *de cuivre et urane*
$2CuO, PhO^5 + 4U^2O^3, PhO^5 + 16HO$
— *de fer* $2FeO, PhO^5 + HO$.
— *de magnésie* $2MgO, PhO^5 + 7HO$.
— *de manganèse* $2MnO, PhO^5 + 7HO$.
— *de plomb* $2PbO, HO, PhO^5$.
— *d'urane* $2U^2O^3, PhO^5 + 5HO$.
— *d'urane et chaux*
$U^2O^3, CaO, PhO^5 + 4HO$.
— *de zinc* $3ZnO, PhO^5 + 4HO$.
Pyrite de cuivre.
Rutile (par HCl sur TiO^2 amorphe).
Soufre prismatique par voie humide
Wagnérite de manganèse.

Des Cloizeaux. . . *Produits de fusion du grenat et de l'idocrase* (anorthite).
Roches d'Islande soumises à une demi-fusion.

Deville (Charles Sainte-Claire.). . *Plomb cristallisé.*

Deville (Henri Sainte-Claire). . *Cassitérite.*
Fer oligiste.
Protoxyde de manganèse.
Essais divers : action du chlorure de silicium sur
- le *grenat.*
- la *magnésie.*
- le *péridot.*
- la *willémite.*
- la *wollastonite.*
- la *zircone.*

Deville (Henri Sainte-Claire) et Caron	*Apatite.*
	Apatite verte.
	Corindon : rubis.
	— saphir.
	Silicate d'alumine.
	Tube de porcelaine avec *silicate d'alumine* (HFl minéralisateur).
	Wagnérite rose de magnésie.
	Zircon.
Dupont et Ferrières.	*Acide titanique cristallisé* (anatase ?)
Laboratoire de M. Frémy (Décomposition des chlorures par la vapeur d'eau).	*Cassitérite.*
	Fer oligiste.
	Greenockite.
	Oxyde de chrome cristallisé.
	Oxyde de cobalt —
	Oxyde de nickel —
	Oxyde de zinc —
	Périclase.
Durocher.	*Antimoine natif.*
	Argyrythrose.
	Bismuthine.
	Blende tétraédrique.
	Chalcosine.
	Cinabre.
	Galène.
	Nickéline
	Panabase antimonifère
	Sidérose.
	Stibine par Sb^2Cl^3 et HS.
	— par Sb^2O^3 et HS.
Ebelmen.	*Chromite de fer.*
	— *de magnésie.*
	— *de manganèse.*
	— *de zinc.*
	Corindon rose (*rubis*).
	Cymophane.
	Diopside (pyroxène purement magnésien).
	Gahnite.
	Glucine cristallisée.
	Pérowskite.
	Silico-aluminate de chaux et magnésie.
	Sphène.
	Spinelle bleu.
	Titanate de magnésie.
	— *de sesquioxyde de fer.*

Forschhammer. . . *Apatite.*

Fouqué et Michel Lévy. . . . . . *Andésite* (oligoclase, augite, fer oxydulé).
Anorthite.
— de baryte.
— de plomb.
— de strontiane.
Basalte, 1er temps (fer oxydulé et pléonaste, péridot, augite).
Basalte complet, 2me temps, avec microlithes de labrador et d'augite.
Enstatite.
Feldspaths tricliniques : mélanges 1 : 3 : 11; 1 : 3 : 10; 1 : 3 : 8; 1 : 3 : 7 ½; 1 : 3 : 7; 1 : 3 : 5.
Humboldtilite sodifère et oligiste.
Hypersthène.
Labrador.
— *de baryte.*
— *de plomb.*
— *de strontiane.*
Labradorite (fer oxydulé, labrador, augite).
Leucite.
Leucitite (fer oxydulé, leucite, augite).
Leucitite fer oxydulé, avec mélilite).
Leucotéphrite, 1er temps (fer oxydulé et pléonaste, leucite, augite).
Leucotéphrite complète, 2me temps, avec microlithes de labrador et d'augite.
Météorites feldspathiques : Eukrite (fer oxydulé, anorthite, enstatite). *Howardite* (fer oxydulé, anorthite, péridot, enstatite).
Météorites sans feldspath (fer réduit, péridot, enstatite, pyroxène magnésien).
Néphéline.
Néphéline et pléonaste.
Néphéline, pléonaste, mélanite.
Néphéline calcédonieuse.
Néphélinite (fer oxydulé et pléonaste, néphéline, augite).
Oligoclase.
— *de baryte.*
— *de plomb.*
— *de strontiane.*
Oligoclase et labrador.
Ophite labradorique (fer oxydulé, labrador, augite).
Ophite anorthique (fer oxydulé, anorthite, augite).
Pyroxène exclusivement magnésien.
Tridymite (asmanite?) et augite.
Tridymite (asmanite?) et enstatite.
Tridymite (asmanite?) et hypersthène.

Fouqué et Michel Lévy (suite). . . . *Essais divers. Anorthite* par fusion d'un oligoclase purement calcique.
Augite par fusion de 3 parties d'augite et 6 de microcline.
Labrador par fusion des éléments du dipyre.
Labradorite par fusion de la roche de Bamle (wernérite et amphibole).
Labradorite par fusion d'une ophite labradorique.
Leucitite (leucite, fer oxydulé, péridot, mélilite) par fusion d'un mélange par parties égales de biotite et microcline.
Minéral brun à deux axes, orthorhombique (?) par fusion de la biotite.
Minéraux provenant de la fusion en parties égales de fluorine et microcline (fluosilicates ?) La même opération a produit par volatilisation des lamelles hexagonales de *corindon*, qui se sont déposées sous le couvercle du creuset de platine.
Produit de fusion et recuit de l'*albite*.
— — de l'*orthose*.

Fremy et Feil. . . *Corindon blanc.*
Corindon rouge (rubis).
Silicate d'alumine cristallisé.

Friedel. . . . . *Azoture de titane* $Ti^3 Az^4$.
Olivénite.
Oxychlorure de plomb (matlockite.)
Rutile.
Sélénite de cuivre (chalcoménite).

Friedel et Guérin. *Oxyde de titane* Ti^5O^3.
Sesquioxyde de titane Ti^2O^3.
Libéthénite.

Friedel et Sarasin. *Quartz.*
Quartz et orthose.
Quartz, tridymite et orthose.
Silico-aluminate de potasse, inattaquable par HCl.

Gaudin. . . . . *Corindon.*

James Hall. . . . . *Creuset* avec enduit cristallisé.
Tube rempli de grès.
Verre noir, fond de creuset.
Verre avec sphérolithes.
Whinstone fondu et recuit.

Hautefeuille . . .	*Albite et oligoclase sodique.* *Enstatite* (pyroxène purement magnésien). *Greenockite.* *Leucite.* *Leucite* (fusion du mica noir). *Leucite et oligoclase potassique.* *Leucite ferrifère.* *Oligoclase lithique* *Orthose.* *Orthose lithique.* *Orthose et quartz* (dans les phosphates). *Pérowskite.* *Quartz à pointement aigu.* *Id. et tridymite.* *Rutile.* *Sagénite.* *Sphène.* *Sphène de chaux.* *Tridymite.* *Wurtzite.*
Joly	*Niobite.* *Niobate de manganèse.* *Niobate de magnésie.*
Lechartier . . .	*Fluo-arséniate de chaux.* *Péridot ferrugineux.* *Péridot magnésien.* *Pyroxène, calcaire et magnésien.* *Pyroxène blanc* id. *Pyroxène vert ferrifère.* *Pyroxène alumineux.* *Pyroxène magnésien.* *Pyroxène très calcifère.* *Wagnérite arséniée.* *Wollastonite.*
Meunier (Stanislas)	*Enstatite* (*pyroxène magnésien*). *Leucite* (petits cristaux principalement composés d'octaèdres quadratiques). *Silicate d'alumine.* *Spinelle.*
Michel	*Hübnérite.*
(procédé Geuther et Forsberg).	*Scheelite.* *Id. par décomposition du wolfram.* *Stolzite.* *Tungstate de baryte.*

Michel (suite). . . .	*Tungstate de bismuth*
	— *de chaux et zinc.*
	— *de cobalt.*
	— *de cuivre.*
	— *de fer.*
	— *de magnésie.*
	— *de magnésie et cobalt.*
	— — *et fer.*
	— — *et manganèse.*
	— *de nickel.*
	— *de nickel et cobalt.*
	— *de strontiane.*
	— *de strontiane et plomb.*
	— *de zinc.*
	Wolfram.
	Wulfénite.
Riban	*Cuprite.*
	Céruse.
	Uranocre.
Schulten (de) . . .	*Analcime trapézoédrique (ternaire).*
	Analcime cubique.
	Zéolite prismatique.
Sénarmont (de) . .	*Argyrythrose.*
	Barytine.
	Bismuthine.
	Carbonate de cobalt
	Carbonate de nickel.
	Haüérite.
	Proustite.
	Stibine.
Stelzner et Schulze	*Gahnite* des fours à zinc.
Terreil. . . . . (Procédé Deville). .	*Sénarmontite et valentinite* dans un même tube
Verneuil et Bourgeois.	*Scorodite et arséniate de fer.*

Nota. Il existe aussi des collections très développées de produits artificiels à l'École des mines et au Muséum. La première est très complète et contient surtout les plus beaux produits d'Ebelmen et d'Henri Sainte-Claire Deville. La seconde renferme la série des reproductions de Becquerel, et les essais de reproduction des météorites de M. Daubrée. Le laboratoire de M. Fremy au Muséum possède la série des produits de MM. Fremy et Feil et une riche collection de reproductions qui ont été obtenues par des méthodes antérieurement connues et qui sont remarquables par la belle cristallisation des échantillons.

M. le comte de Limur possède à Vannes une belle collection des produits de Durocher.

TABLE DES MATIÈRES

Acide arsénieux rhombique. . 274
Alabandine 307
Albite. 136
Alliages de platine et fer . . 377
Altaïte 354
Aluminite. 343
Alun 344
Alunite. 344
Alunogène 343
Analcime. 162
Anatase. 173
Andésite artificielle 60
Anglésite 339
Anhydrite. 334
Anorthite. 128
Anorthite de plomb accidentel. 223
Anorthite zincique accidentel . 149
Antimoine 283
Apatite. 261
Apatites arséniées. 281
Apatites diverses 265
Apophyllite. 261
Aragonite. 198
Argent 371
Argent amalgamé. 374
Argent antimonié 288
Argent arsénié 278
Argyrose 313
Argyrythrose 330
Arsenic natif 272
Arsénite 273
Atacamite. 361
Augite 102
Azurite. 214
Barytine 336
Basalte. Opinions sur son origine 42
Basalte artificiel. 61
Berzélianite. 349
Bisilicate de strontiane. . . . 114
Bismuth 370
Bismuthine. 318
Blende. 297
Boracite 194
Borax 195
Brochantite. 346
Bromure d'argent 359
Brookite 171
Bunsenite. 384

Calcite 198
Calomel 360
Carnallite. 358
Cassitérite 389
Célestine 338
Céruse 210
Chalcolite. 260
Chalcoménite 352
Chalcopyrite 326
Chalcosine 294
Chlorospinelle. 238
Chromites 248
Cinabre. 312
Classement des synthèses . . 3
Classification des méthodes de reproduction artificielle . . 20
Clausthalite. 16

Conditions d'une synthèse minérale 3
Corindon 218
Cotunnite. 358
Cristallisation par dissociation au sein d'une dissolution. . 28
Cristallisation par fusion dans un fondant 23
Cristallisation par fusion ignée. 50
Cristallisation par contact ménagé de deux dissolutions . 29
Cristallisation par oscillations de la température. 27
Cristallisation par semis . . . 27
Cristallisation des roches d'origine ignée. 78
Cristallisation par voie humide sous pression 29
Cuivre 367
Cuivre panaché 327
Cuprite. 378
Cuproscheelite 191
Cymophane 226

Détermination des minéraux artificiels 54
Dévitrification du verre. . . . 37
Diabases et dolérites ophitiques artificielles 73
Diaspore 224
Diopside 106
Dioptase 165
Dolomie 204

Émeraude. 121
Emplectite 328
Enstatite 110
Enstatite lithique 112
Enstatite, détermination au microscope 59
Epsomite 342
Essais de reproduction artificielle des roches éruptives. 75
Étain. 367
Eucarite 350
Eukrites artificielles 71

Feldspaths. 128
Feldspaths de soude et de baryte, strontiane, plomb. . . 145
Feldspaths, essais de cristallisation 38
Feldspaths, opinions sur leur reproduction artificielle . . 38
Feldspaths tricliniques, détermination au microscope . . 56
Fer 365
Fer chromé. 249
Fer oligiste. 233
Fer oxydulé. 239
Ferrites 238
Fluorine 363
Fourneau Schlœsing, Leclerc et Forquignon. 11
Franklinite 238
Fusion avec réaction chimique 23
Fusion sans réaction chimique, avec dissolvant 23
Fusion sans réaction chimique et sans dissolvant. 21

Gahnite. 229
Galène 308
Gay-lussite. 213
Gehlénite 124
Généralités 1
Giobertite. 206
Glasérite 333
Glaubérite 334
Graphite 196
Greenockite. 303
Grenat mélanite. 122

Haidingérite 278
Hauérite 321
Hausmannite 243
Hématite 233
Hercynite. 228
Hessite. 355
Historique 1
Hopéite. 255
Howardite artificielle. 71
Hübnérite. 189
Huréaulite 255
Hypersthène 111

Idocrase 122
Inclusions vitreuses des produits artificiels 75

Iodure d'argent. 359

Kérargyre. 342
Kiesérite 359

Labrador. 139
Labradorites artificielles. . . 61
Laurite. 324
Leucite. 150
Leucite, détermination au microscope 58
Leucite, élaboration par recuit 22
Leucite ferrifère. 151
Leucite, formes naissantes. . 154
Leucites lithiques 151
Leucitites artificielles 61
Leucotéphrites artificielles . . 65
Lévyne 161
Lherzolithe artificielle. . . . 67
Libéthénite 259

Magnésite. 206
Malachite. 16
Marbre artificiel. 199
Massicot 385
Matlockite 362
Meïonite 158
Mélanochroïte. 245
Mélaphyres labradoriques artificiels 61
Mélilite. 125
Mélilite, détermination au microscope 59
Météorites feldspathiques artificielles 71
Météorites sans feldspath . . 38 et 67
Mica noir. 126
Millérite 306
Mispickel 325
Modifications moléculaires des corps dissous dans l'eau . . 27
Modifications des corps à l'état solide 20
Modifications des corps fondus 21
Modifications des corps volatilisés 24
Molybdite. 193
Monazite 253

Moyens nouveaux favorables aux synthèses. 6

Natron 212
Naumannite. 350
Néphéline 155
Néphéline, détermination au microscope 58
Néphéline, formes naissantes. 157
Néphélinites artificielles . . . 63
Nickel antimonié 287
Nickéline 277
Niobite. 182

Oligoclase 140
Oligoclases purement sodique ou potassique. 137
Olivénite 280
Opale 92
Or 375
Orpiment. 316
Orthose. 132
Orthose accidentel. 129
Oxyde de chrome. 246
Oxyde de titane Ti^2O^3. . . . 174
id. Ti^3O^5 168 et 175

Panabase. 331
Périclase 380
Péridot. 96
Péridot, détermination au microscope 58
Péridot lithique. 100
Pérowskite 176
Pérowskite de magnésie . . . 177
Pétalite. 159
Petzites. 355
Phillipsite 162
Phosgénite 217
Phosphure de nickel. 252
Platine 376
Plomb 369
Porphyrites andésitiques artificielles. 60
Porphyrites labradoriques artificielles. 61
Proustite 318
Pyrite 321
Pyrite magnétique 316

Pyrochlore 181
Pyromorphite 267
Pyroxène 102
Pyroxène, détermination au microscope 58
Pyroxène purement magnésien 107

Quartz 81
Quartz à pointements aigus. . 89

Réalgar. 320
Régulateur D'Arsonval 12
Reproduction des roches éruptives par voie ignée, dispositif 47
Reproduction artificielle des roches éruptives 31
Rhabdite 251
Rhodonite 114
Roche à microlithes de pyroxène et d'anorthite. 61
Rutile 166

Sassoline 194
Scheelite 186
Scheelitine 191
Schreibersite 253
Scorodite. 279
Sel ammoniac. 357
Sélénium 348
Séléniure de cadmium. . . . 305
Séléniure de zinc 299
Sel marin 357
Sénarmontite 284
Séparation des minéraux microscopiques 55
Sidérose 209
Silicates d'alumine 117
Smaltine 276
Smithsonite. 208
Soufre 289
Sous-fusion. 22
Sphène. 179
Spinelle 227
Stibine. 317
Stolzite. 191
Stroméyérine 296
Strontianite. 208
Sulfate de cobalt hydraté . . 345
Sulfate de cuivre hydraté. . . 346
Sulfate de fer hydraté. . . . 345
Sulfate de nickel hydraté. . . 345
Sulfate de zinc hydraté. . . 343
Sulfures de cobalt. 307
Sylvine. 357
Synthèse des roches éruptives par réaction chimique au sein d'un fondant 33
Synthèse par voie aqueuse sous pression 31
Synthèse par voie ignée. . . 34

Tantalite (essai de reproduction) 181
Tellure. 353
Tellurure de cuivre 350
Tellurure de mercure. . . . 354
Tellurure de zinc. 299
Ténorite 387
Téphroïte 100
Thénardite 333
Thermonatrite 212
Tiemannite 351
Titanates bibasiques. 178
Topaze 119
Tourmaline 120
Tridymite. 85
Trompe Damoiseau 11
Tubes à pressions hydrothermiques 11
Tungstates (généralités). . . 192
Tungstite. 185

Urao 212
Uranocre 391
Utilité des synthèses minérales. 12

Valentinite 286
Vanadinite 183
Vivianite 257
Volatilisation proprement dite. 24
Volatilisation avec réaction chimiques 25
Voltzine 332

Wagnérites 261

Wagnérites arséniées 281
Willémite. 101
Withérite 207
Wolfram 188
Wollastonite 112
Wulfénite. 193
Wurtzite 299
Xénotime. 254

Zéolites 160
Zincite 383
Zinkénite. 327
Zircon 115

TABLE ALPHABÉTIQUE

DES NOMS PROPRES CITÉS

REPRODUCTIONS ACCIDENTELLES

ÉTUDES ET CONSIDÉRATIONS DIVERSES

Arzruni et Groth. Étude du wolfram et de la hübnérite artificiels. 190

Beaumont (Elie de). Origine du granite. 19
Becquerel. Cristallisations lentes, par faibles courants électriques 29
Behrens. Détermination micro-chimique des bases . . 55
Berthier. Historique. . . . 2
— Influence des études de chimie minérale sur les synthèses 5
Bischof. Pyrite accidentelle. 322
Blake. Oxyde de chrome accidentel 246
Bontemps. Dévitrification. . 37
Boricky. Détermination micro-chimique des bases. . . 55
Bothe. Péridot accidentel . . 96
Boussingault. Fer oligiste accidentel. 233
— Fer oxydulé accidentel. . 239
Bréguet. Fer cristallisé accidentel 366
Breithaupt. Étain cristallisé accidentel. 367
— Orthose accidentel 129
Bréon (René). Labradorites ophitiques d'Islande. . . . 75
— Séparation des minéraux microscopiques 55
Brewster. Inclusions liquides du diamant. 197
Bunsen. Pyrite accidentelle. 322

Cagniard-Latour. Essai de reproduction du diamant. . 197
Carnal. Fer cristallisé accidentel 366
Caron et Sainte-Claire Deville (Henri), voir Sainte-Claire Deville (Henri) et Caron, p. 415.
Clémenceau. Dévitrification. 37
Cornuel. Fer cristallisé accidentel 365

Damoiseau. Trompe. 11 et 47
D'Arsonval. Régulateur . . 12

Dartigues. Dévitrification du verre. 37
Daubrée. Anglésite accidentelle 340
— Appareils sous pression à enveloppe métallique . . . 11
— Atacamite accidentelle . . 361
— Céruse accidentelle. . . . 210
— Chalcopyrite accidentelle . 326
— Chalcosine accidentelle . . 294
— Cristallisation par voie humide à haute pression. . . 29
— Cuprite accidentelle. . . . 379
— Essai de reproduction du disthène 117
— Essai de reproduction des feldspaths 137
— Essai de reproduction de la haussmannite. 243
— Essai de reproduction du mica noir. 127
— Essai de reproduction de la topaze 119
— Galène accidentelle. . . . 309
— Opale accidentelle 94
— Opinion sur l'origine semi-aqueuse du basalte 42
— Panabase accidentelle. . . 331
— Phosgénite accidentelle. . 217
— Pyrite accidentelle. . . . 322
— Sidérose accidentelle. . . 209
— Soufre octaédrique accidentel 291
— Tridymite accidentelle . . 86
— Vivianite accidentelle. . . 257
— Volatilisation avec réactions chimiques. 25
— Zéolites accidentelles. . . 160
Debray. Cristallisation par oscillation de température des dissolutions. 27
— Expériences sur la dissociation du carbonate de chaux 21
— Séries complétées par synthèse. 17
Dechen (von). Céruse accidentelle 210
— Péridot accidentel 96
Degenhardt. Gahnite accidentelle 229
Delesse. Fusion des roches. 38
— Origine semi-aqueuse du basalte. 42
Demeste. Cuprite accidentelle 379
Des Cloizeaux. Anorthite accidentel 131
— Produits de fusion et recuit du grenat. 123
— Produits de fusion et recuit de l'idocrase 122
Despretz. Essai de reproduction du diamant. 197
Döbereiner. Arsénite accidentelle 274
Drée (de) liquéfaction ignée. 37
Dufrénoy. Alun accidentel . 344
Dumas. Dévitrification du verre 37
Durocher. Volatilisation avec réactions chimiques. . . . 25

Ebelmen. Cristallisation dans un fondant 23
— Distinction, par les synthèses, du véritable isomorphisme. 15
— Essai de reproduction d'un pyrochlore 182
— Essai de reproduction d'une tantalite 181
— Historique. 2
— Influence des études de chimie minérale sur les synthèses 5
— Platine cristallisé accidentel. 376
— Séries complétées par la synthèse 17
— Services rendus par les synthèses. 18

Field. Atacamite accidentelle. 361
Fleuriau de Bellevue. Action du feu dans les volcans. 37
Forbes. Mélilite accidentelle. 125
Forschhammer. Essai de reproduction du mica 127
— Essai de reproduction du phosphate de fer 258
Fouqué et Michel-Lévy. Étude des produits de Hall. 35

— Expérience relative à l'origine du granite. 19
— Produit de fusion de l'albite 140
— Produit de fusion du mica noir 127
— Produit de fusion de l'oligoclase purement calcique . . 143
— Produit de fusion de l'orthose 141
Fournet. Origine du granite. 18
François. Pyrite accidentelle. 322
Freiesleben. Orthose accidentel 129
Frémy. Cristallisations lentes 29
— Synthèses éclairant la composition des minéraux impurs 13
Friedel et Sarasin. Cristallisation par voie humide à haute pression. . . . . 29 et 32
— Revêtement intérieur en platine des appareils à pression hydrothermique. 8
— Synthèse complétant les séries minéralogiques . . . 17

Gannal. Essai de reproduction du diamant. 197
Gay-Lussac. Historique . . 2
— Volatilisation avec réactions chimiques 24
Gergens. Soufre octaédrique accidentel. 291
Gernez. Semis dans un liquide sursaturé ou en surfusion 27
Gonnard. Galène accidentelle 309
Göppert. Inclusions liquides du diamant. 197
Gouvenain (de). Chalcosine accidentelle. 294
— Pyrite accidentelle 322
Groth et Arzruni. Étude du wolfram et de la hübnérite artificiels. 190
Grüner. Diopside accidentel. 106
Gürlt. Citation sur le développement de l'école synthétique en France 4
— Wollastonite accidentelle . 113

Haidinger. Vivianite accidentelle. 257
Hall (James). Historique . . 2
— Voie ignée. 34
Hannay. Essai de reproduction du diamant 198
Hausmann. Argent cristallisé accidentel 371
— Chalcopyrite accidentelle . 326
— Cuprite accidentelle. . . . 378
— Fer accidentel 365
— Fer oxydulé accidentel. . . 239
— Gehlénite accidentelle. . . 124
— Nickel antimonié accidentel. 287
— Orthose accidentel 129
— Pyrite magnétique accidentelle. 316
Hautefeuille. Cristallisation par fusion avec réactions chimiques 24
— Formes inconnues dans la nature obtenues par synthèse. 17
— Le quartz, reproduit à haute température, n'a pas les formes de celui du granite. 20
Heine. Orthose accidentel. . 129
Hutton. Origine du granite . 19

Jensch. Ténorite accidentelle. 387
Jutier. Zéolites accidentelles. 160

Kenngott. Essai de reproduction de la pyromorphite . . 268
Kersten. Orthose accidentel . 129
— Voltzine accidentelle . . . 332
Klapproth. Cassitérite accidentelle. 389
Knop. Chlorure de sodium octaédrique. 358
Kokcharoff. Étude des cristaux artificiels de gay-lussite 213
Kopecki. Argent amalgamé accidentellement cristallisé. 375
Kuhlmann. Anglésite accidentelle. 339
— Hausmannite accidentelle . 244
— Fer oligiste accidentel. . . 233
— Fer oxydulé accidentel. . . 240

Laube. Arsénite accidentelle 274
Laurent. Fer oxydulé accidentel. 239
Lechartier. Cristallisation des péridots et des pyroxènes dans un fondant. 23
— Utilité de la synthèse pour compléter les séries minérales. 17
Leclerc et Forquignon. Fourneau à chalumeau. . . 11
Lecoq. Pyrite accidentelle. . 322
Leonhard (von) Augite accidentel. 102
— Cuprite accidentelle. . . . 378
— Galène accidentelle 309
— Opinion sur les essais de reproduction des feldspaths par voie ignée. 38
— Orpiment accidentel. . . . 316
— Plomb cristallisé accidentel 370
— Pseudo-mica accidentel . . 127
— Stibine accidentelle. . . . 317
Little. Essai de reproduction de la berzélianite 349
— de la clausthalite 349
— de la tiemannite 351

Macé. Cristallisations lentes. 29
Mallard. Anorthite accidentel 131
— Augite accidentel 102
— Rhabdite accidentelle. . . 251
Mallet. Cuivre accidentel . . 368
Margottet. Cristallisation de la proustite et de l'argyrythrose dans un fondant. . . 23
— Volatilisation avec réaction chimique 25
Mayençon. Arsénite accidentelle 274
Meunier (Stanislas). Essai de reproduction de la mélanochroïte. 245
— Id. de la leucite 152
— Id. de l'orthose. 138
— Id. d'un silicate d'alumine cristallisé. 119
Michel. Généralités sur les tungstates. 192
Michel Lévy et Fouqué. Voir Fouqué et Michel Lévy, p. 424
Mitscherlich. Augite accidentel 102
— Essai de cristallisation des feldspaths 38
— Id. du grenat mélanite . . 123
— Id. de l'idocrase 122
— Fusion des roches. . . . 38
— Massicot accidentel 385
— Péridot accidentel 96
— Pseudo-mica accidentel . . 126
— Cristallisation du soufre. . 292
Moitessier. Dolomie accidentelle 204
Müller. Argyrose accidentelle 313

Nicklès. Vivianite accidentelle 257
Nöggerath. Augite accidentel 103
— Cuprite accidentelle 379
— Fer cristallisé accidentel. . 365
— Péridot accidentel. 96
— Plomb cristallisé accidentel. 370
Nordenskiöld. Étude de la molybdite artificielle . . . 193
— Id. de la tungstite artificielle 186

Pajot. Plomb cristallisé. . . 369
Payen. Massicot 386
Peligot. Dévitrification . . . 37
Pelouse. Dévitrification. . . 37
Percy. Gehlenite accidentelle. 124
Percy. Péridot accidentel. . 96
Plattner. Chalcopyrite accidentelle 326

Rammelsberg. Chalcosine accidentelle. 294
— Fer oligiste accidentel. . . 234
— Orthose accidentel 130
— Pyrite accidentelle 323
Rose (G.). Cristallisation par dissociation au sein d'une dissolution 28
— Essai de cristallisation du

feldspath 38

Sainte-Claire Deville (Henri). Action des minéralisateurs sur les corps solides 21
— Cristallisation de l'apatite dans un fondant. 23
— Cristallisation par oscillation de la température des dissolutions. 27
— Essai de reproduction du disthène 117
— Essai de reproduction de l'émeraude 121
— Essai sur la reproduction des feldspaths. 137
— Essai de reproduction de l'harmotôme. 162
— Essai de reproduction de la topaze 119
— Essai de reproduction de la tourmaline 121
— Historique 2
— Rôle des minéralisateurs 26
— Volatilisation avec réactions chimiques 25

Sainte-Claire Deville (Henri) et Caron. Essai de reproduction de la staurotide et de la sillimanite. 117
— Séries complétées par la synthèse 413

Sarasin et Friedel. Voir Friedel et Sarasin, p. 413.

Scacchi. Réalgar accidentel. 320

Schafhäutl. Cristallisation par voie humide à haute pression 29

Scheerer. Argent filiforme accidentel. 372
— Chalcosine accidentelle . . 295
— Rutile accidentel 166

Schlœsing. Fourneau à chalumeau. 11

Schlossberger. Vivianite accidentelle. 257

Schulze et Stelzner. Anorthite zincique accidentel. . 149
— Gahnite accidentelle . . . 229
— Tridymite accidentelle. . . 85

Sénarmont. Cristaux artificiels microscopiques. . . . 5
— Conditions d'une synthèse minéralogique 3
— Cristallisation par voie humide à haute pression. . . 29
— Essai de reproduction de la millérite 306
— Historique 2
— Utilité de l'union de la chimie, de la minéralogie et de la géologie 5

Sidot. Sublimation de la blende 24

Siemens. Essai de reproduction du marbre. 199

Sillimann. Essai de reproduction du diamant 197

Silvestri. Soufre triclinique accidentel 289

Soge. Cuprite accidentelle. . 379

Sokolow. Péridot accidentel. 96

Sorby. Formation des cristaux et des cristallites. 43
— Granite 19

Szabo. Coloration des flammes 56

Thoulet. Séparation des minéraux microscopiques. . . 55

Tschermak. Observation sur la théorie de l'isomorphisme des feldspaths . . . . 16 et 56

Tünneman. Influence de la lumière sur la cristallisation de l'acétate de plomb . . . 386

Ulrich. Acide arsénieux rhombique accidentel. 274
— Fer cristallisé accidentel . 366
— Pyrite accidentelle. . . . 322
— Soufre octaédrique accidentel 291

Vélain. Anorthite accidentel. 131
— Augite accidentel 113
— Opale accidentelle 94
— Tridymite accidentelle . . 85
— Wollastonite accidentelle . 113

Vogelsang. Dévitrification . 37

— Essais par voie humide sous pression 31

Walchner. Péridot accidentel 96
Warrington. Argent cristallisé accidentel 372
Watt (Grégory). Voie ignée. 36
Werner. Origine du granite. 19
Wieser. Fer oxydulé accidentel 239
— Rhodonite accidentelle . . 114
Wiesnegg. Bloc. 19
Wohler. Arsénite accidentelle. 274

— Cuivre cristallisé accidentel. 367
— Fer cristallisé accidentel . 365
— Oxyde de chrome accidentel 246

Zimmermann. Orthose accidentel 129
Zirkel. Différence des moyens naturels et des procédés de laboratoire 7
— Reproduction de roches par voie ignée 45

TABLE ALPHABÉTIQUE

DES NOMS PROPRES CITÉS

REPRODUCTIONS ARTIFICIELLES

Baubigny.

Blende 298
Millérite 307

Becquerel.

Anglésite 340
Argent cristallisé 373
Argyrose 314
Azurite 214
Brochantite 346
Barytine 337
Calcite et aragonite 202
Céruse 211
Chalcosine 295
Cotunnite 359
Cuprite 380
Dioptase 165
Fluorine 363
Galène 310
Kérargyre 359
Malachite 216
Massicot 386
Matlockite 362
Mélanochroïte 245
Opale 92
Ténorite 387
Vivianite 258
Zincite 383

Behrens.

Barytine 337
Célestine 338
Gypse 342

Berthier.

Péridot 97
Pyroxène 103
Téphroïte 100

Bischof.

Marbre 199

Böcking.

Cuivre panaché 327

Bourgeois (L.)

Bisilicate de strontiane . . . 114
Calcite 392
Dimorphisme de la meïonite . 158
Dimorphisme de la wollastonite 113
Gehlénite 125

Hausmannite 244
Mélilite. 126
Mélilite manganésifère. . . . 392
Produit de fusion et recuit du grenat mélanite. 123
Rhodonite 114
Strontianite. 392
Withérite. 392

Bourgeois (L.) et Verneuil.

Scorodite. 279

Carnot (Ad.)

Alabandine 307
Argyrose 315
Bismuthine 319
Galène 311
Stibine. 318

Caron et Sainte-Claire Deville (Henri).

Voir Sainte-Claire Deville (Henri) et Caron, p. 422.

Clouet.

Chromite bibasique de fer . . 250

Cossa.

Scheelite didymifère. 188
Sellaïte. 364

Daubrée.

Alliage de fer et platine magnéti-polaire 377
Apatite. 262
Brookite 171
Cassitérite 389
Diopside 106
Enstatite 110
Fer oligiste. 234
Fer oxydulé. 238
Périclase 381
Péridot. 98
Quartz et calcédoine. 82
Reproduction des météorites sans feldspath. . . . 38 et 39
Rutile 166
Zincite. 383

Debray.

Apatite. 265
Apatites arséniées. 281
Arsénite 274
Arsénite rhombique. 275
Atacamite 361
Azurite. 214
Bunsenite. 385
Chalcolite. 260
Corindon 221
Fer oxydulé. 241
Haidingérite 278
Hausmannite 243
Hopéite. 256
Huréaulite 255
Libéthénite. 259
Olivénite 280
Périclase 381
Pyromorphite 268
Scheelite 187
Soufre 291
Tungstite 185
Valentinite 287
Vivianite 258
Wolfram 189

Debray et Sainte-Claire Deville (Henri).

Voir Sainte-Claire Deville (Henri) et Debray, p. 423.

Ditte.

Borates. 195

Drechsel et Scheerer.

Fluorine 364

Drevermann.

Anglésite 340
Céruse 211

Dumas.

Argent amalgamé cristallisé . 374
Argyrose 314
Périclase 380

Dupont et Ferrières.

Bunsénite. 385
Greenockite. 304
Oxyde de chrome 237
Périclase 382
Zincite 384

Durocher.

Antimoine 283

Argent cristallisé 373
Argyrose 314
Argyrythrose 330
Arsenic. 273
Barytine 336
Bismuthine 319
Blende 298
Chalcosine 295
Cinabre. 313
Dolomie 204
Fer oxydulé. 240
Galène 309
Greenockite. 303
Nickéline. 277
Panabase. 332
Plomb cristallisé. 370
Proustite 329
Pyrite 323
Sidérose 210
Smaltine 276
Stibine 318

Ebelmen.

Bunsénite. 384
Corindon. 219
Chromites 248
Cymophane. 226
Émeraude 121
Fer oxydulé. 239
Franklinite 238
Gahnite. 230
Opale 92
Oxyde de chrome 246
Périclase. 381
Péridot. 97
Pérowskite 176
Pyroxène magnésien. 107
Rutile 167
Silicate de zinc cristallisé . . 101
Sphène. 179
Spinelles 227
Titanates de sesquioxyde de fer et de magnésie. 179
Uranocre 391

Faraday.

Marbre. 199

Favre et Marignac.

Dolomie 204

Favre et Soret.

Gay-Lussite 213

Faye.

Schreibersite 253

Feil et Fremy.

Voir Fremy et Feil, p. 420.

Ferrières et Dupont.

Voir Dupont et Ferrières, p. 418.

Flach.

Galène 310

Forsberg et Geuther.

Voir Geuther et Forsberg, p. 420.

Forschhammer.

Apatite . . . . . 23 et 263

Fouqué et Michel Lévy.

Andésite et porphyrite andésitique 60
Anorthite. 138
Augite 105
Basalte et mélaphyre labradorique. 61
Diabase et dolérite à structure ophitique. 73
Enstatite 111
Feldspaths de soude et de baryte, strontiane ou plomb . 145
Feldspaths intermédiaires entre l'albite et l'anorthite 142
Fer oligiste. 236
Fer oxydulé. 241
Grenat mélanite. 124
Labrador 139
Labradorite et porphyrite labradorique 61
Leucite. 153
Leucitite 64
Leucotéphrite 65
Lherzolithe. 67
Mélilite. 126
Météorites avec feldspath . . 71
Météorites sans feldspath. . . 67
Néphéline. 156
Néphélinite 63
Oligoclase. 140
Pyroxène purement magnésien 109

Roche à microlithes de pyroxène et d'anorthite. . . . 61
Spinelle ferrifère 231

Fournet.

Argyrythrose 330
Zinkénite. 327

Fremy.

Anglésite. 341
Barytine 337
Célestine 339
Céruse 211
Opale. 93
Withérite. 207

Fremy et Feil.

Corindon 222
Brochantite. . . . . .
Silicate d'alumine 118

Friedel.

Atacamite. 362
Brochantite. 393
Soufre triclinique 289

Friedel et Guérin.

Rutile 170
Sesquioxyde de titane. . . . 174

Friedel et Sarasin.

Chalcoménite 352
Cristallisation simultanée du quartz et de l'orthose . . . 8
Hopéite. 256
Libéthénite 260
Orthose. 134
Phosgénite 217
Quartz 84
Tridymite. 87

Fritzsche.

Gay-lussite.. 213

Garnier.

Phosphure de nickel 252

Gaudin.

Corindon. . . . . 218 et 221

Gay-Lussac.

Fer oligiste 233
Marbre. 199

Geitner.

Pyrite. 324
Stibine. 317

Gernez.

Soufre 292

Geuther.

Oxyde de chrome. 247

Geuther et Forsberg.

Stolzite ou Scheelitine. . . . 191
Tungstates divers 189
Wolfram 188

Gergeu.

Pyrolusite. 388

Guérin et Friedel.

Voir Friedel et Guérin.

Haidinger.

Argent cristallisé 371

Haldat.

Fer oligiste. 234

Hall (James).

Marbre. . . . . 21 et 198

Hauer (K. von).

Fer oligiste. 235
Fer oxydulé. 241

Hautefeuille.

Albite. 136
Anatase. 173
Brookite. 171
Corindon 221
Enstatite 111
Greenockite. 304
Leucite. 150
Leucite ferrifère. 151
Leucites lithiques 151
Néphéline. 155
Oligoclase sodique ou potassique. 137
Orthose. 132
Péridot 98
Pérowskite 176
— de magnésie. . . . 177

Pétalite. 159
Produits de fusion des micas blanc et noir dans le vanadate de potasse. 152
Pyroxène magnésien. 108
Quartz 85
— à pointements aigus. . 89
Rutile. 169
Sphène. 180
Titanates bibasiques. 178
Tridymite. 87
Vanadinite 183
Wurtzite 301

Hautefeuille et Margottet.

Calcite 203
Enstatite lithique 112
Péridot lithique. 100

Heintz.

Boracite. 194

Hermann.

Urao 213

Hirtzel.

Acide arsénieux rhombique. . 275

Hittorf.

Sélénium 349

Hjortdahl.

Sulfure de cobalt (CoS). . . . 307

Hoppe-Seyler.

Anhydrite. 335
Dolomie. 205

Houton-Labillardière.

Massicot 386

Jacquelain.

Graphite. 197

Joly.

Niobates de manganèse, de fer. 183
Niobite 182
Pyrochlore 181

Klapproth.

Grenat mélanite. 122

Knoffl.

Or. 375

Kobell (von).

Grenat mélanite. 123

Lechartier.

Apatites et wagnérites arséniées. 281
Péridots. 98
Pyroxènes. 104
Wollastonite. 113

Macé.

Anglésite 340
Barytine. 337
Célestine 338

Manross.

Anglésite 340
Anhydrite. 334
Apatite 263
Barytine. 337
Célestine 338
Pyromorphite 268
Scheelite 186
Stolzite. 191

Margottet.

Altaïte 354
Argent filiforme. 373
Argyrose 315
Argyrythrose. 330
Berzélianite. 349
Chalcosine 296
Clausthalite. 349
Cuivre filiforme 368
Eucaïrite 350
Hessite 355
Naumannite. 350
Or filiforme 376
Petzites. 355
Proustite 329
Séléniure de cadmium 305
— de zinc 299
Stroméyérine 296
Tellure 353
Tellurure de cuivre 350
— de mercure 354
— de zinc. 299
Tiemannite 351

Margottet et Hautefeuille.

Voir Hautefeuille et Margottet, p. 421.

Marignac et Favre.

Voir Favre et Marignac, p. 419.

Marigny (de).

Cuivre panaché 327
Galène 311

Meunier (Stanislas).

Corindon 223
Fer nickelé 366
Péridot 99
Pyroxène magnésien. 109
Spinelle. 231

Michel.

Cuproscheelite. 191
Scheelite 187
Wolfram 190
Wulfénite. 193

Michel Lévy et Fouqué.

Voir Fouqué et Michel Lévy, p. 419.

Mitscherlich.

Anhydrite. 334
Chalcosine 295
Cuprite. 380
Sélénium 348

Monnier.

Opale. 94

Morlot.

Dolomie. 204

Nordenskiöld.

Hausmannite 393

Pasteur.

Acide arsénieux orthorhombique. 275
Sénarmontite.. 286
Soufre prismatique par voie humide. 291

Radominsky.

Monazite 253
Xénotime. 254

Regnault.

Zincite 384

Riban.

Cuprite 380
Uranocre 391

Rodwell.

Galène 311

Rose (G.).

Anatase 174
Calcite et aragonite. 199
Fer oligiste. 235
Fer oxydulé. 241
Marbre artificiel. 198
Tridymite. 86
Smithsouite. 208

Rose (H.).

Giobertite 206

Royer.

Soufre 291

Sainte-Claire Deville (Ch.).

Augite 103
Soufre 290

Sainte-Claire Deville (Henri).

Cassitérite 390
Chlorospinelle 238
Fer oligiste. 235
Hausmannite 243
Lévyne. 161
Périclase 381
Phillipsite 162
Pyrite 418
Rutile 168
Willémite. 101

Sainte-Claire Deville (Henri) et Caron..

Apatite. . . . . 262 et 264
Apatites diverses 265
Cassitérite 389
Corindon 220
Cymophane. 226
Fer oxydulé. 240
Gahnite 230
Pyromorphite. 268
Rutile 168
Wagnérites. 269
Zircon 115

Sainte-Claire Deville (Henri) et Debray.

Alliage cristallisé de fer et de platine 377
Cinabre 313
Kérargyre 360
Laurite. 324

Sainte-Claire Deville (Henri) et Troost.

Argyrose 314
Greenockite. 303
Wurtzite 299

Sandberger.

Nickel antimonié 287

Sarasin et Friedel.

Voir Friedel et Sarasin, p. 420.

Schafhäutl.

Quartz 82

Scheerer et Drechsel.

Fluorine 364

Schneider.

Bismuthine 318
Emplectite 328
Sulfure de cobalt 307

Schüler.

Greenockite. 303

Schulten (de).

Analcime 162

Sénarmont (de).

Argent cristallisé 373
Argyrythrose 330
Arsenic natif 272
Barytine 336
Bismuthine 318
Blende 297
Chalcopyrite 326
Chalcosine 295
Corindon 218
Cuivre cristallisé 368
Diaspore 224
Fluorine 363
Galène 309
Giobertite. 206
Haüérite 321
Malachite. 216
Mispickel. 325
Proustite 328
Pyrite 323
Quartz 82
Réalgar. 320
Rutile 167
Sidérose 209
Smithsonite 208
Stibine 317

Sidot.

Cuivre cristallisé 368
Galène 311
Greenockite. 304
Rhabdite 251
Wurtzite 300

Soret et Favre.

Voir Favre et Soret, p. 419.

Sterry-Hunt.

Dolomie 205
Giobertite 206
Gypse 341

Stolba.

Galène 310

Struve.

Anhydrite. 325

Studer.

Grenat mélanite. 123

Svanberg.

Oxyde de chrome 247

Troost et Sainte-Claire Deville (Henri).

Voir Sainte-Claire Deville (Henri) et Troost, p. 423, col. 1.

Verneuil et Bourgeois.

Scorodite 279

Wöhler.

Anatase 173
Apophyllite 161
Pyrite 323

Wohlfahrt.

Gahnite 229

HDI
HW 2K08 I

NOV 3 1895
OCT 30 1896
JUN 20 1914
~~DUE MAY 16 1919~~
JAN 29 1897
MAY 3 1898
FEB 10 1900
JAN 9 1901
MAR 14 1903